



Universidad Pablo de Olavide  
Facultad del Deporte

“Efectos de la fatiga sobre parámetros  
de rendimiento en el golpeo de balón  
en fútbol”

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

**Víctor Torreblanca Martínez**

Dirigida por:

**Dr. D. José Antonio González Jurado**

**Dr. D. Fernando Manuel Otero Saborido**

Sevilla, 2018

**AVAL<sup>2</sup> DEL DIRECTOR/A/RES DE LA TESIS DOCTORAL PARA PROCEDER A SU DEPÓSITO EN LA ESCUELA DE DOCTORADO DE LA UPO (EDUPO)**

**DATOS DE LA TESIS DOCTORAL**

AUTOR/A TESIS:	
Víctor Torreblanca Martínez	
PROGRAMA DE DOCTORADO:	
Ciencias de la Actividad Física y el Deporte	
DIRECTOR/A TESIS :	
José A. González Jurado	
DNI/ PASAPORTE.: 26216634S	
UNIVERSIDAD DIRECTOR/A/ INSTITUTO:	
Universidad Pablo de Olavide	
CODIRECTOR/A:	
Fernando M. Otero Saborido	
DNI/ PASAPORTE: 45651923M	
UNIVERSIDAD/ INSTITUTO :	
Universidad Pablo de Olavide	
TÍTULO DE LA TESIS:	
Efectos de la fatiga sobre parámetros de rendimiento en el golpeo de balón en fútbol	

D. /D<sup>a</sup>.: José A. González Jurado y Fernando M. Otero Saborido como directores de la tesis doctoral, emitimos informe favorable AVALANDO la formalización del depósito de la misma en la Escuela de Doctorado de la UPO (EDUPO)

*(Cuando el Director/a de la tesis no sea profesor/a de la UPO, además, el informe favorable de un Tutor/a)*



J. Antonio González Jurado



F. Manuel Otero Saborido

<sup>1</sup> Informe director/a tesis para depósito, Área Postgrado, gestión de tesis doctorales, versión número 3

<sup>2</sup> Conforme a lo establecido en el artículo 36 punto 1 de la Normativa sobre Estudios de Doctorado de la UPO

**Informe de indicios de calidad** de las publicaciones aportadas en la Tesis Doctoral titulada “Efectos de la fatiga sobre parámetros de rendimiento en el golpeo de balón en fútbol”, depositada por el doctorando Víctor Torreblanca Martínez.

1. Publicación: “Características antropométricas y de rendimiento físico en futbolistas sub-11 según el nivel competitivo”.

Autores: Torreblanca-Martínez, V., Arráez, A., Otero-Saborido, F., & González-Jurado, J.

Fecha de Publicación: Julio 2018.

Revista: “Retos. Nuevas perspectivas de Educación Física, Deporte y Recreación”.

Indicios de Calidad según DICE:

Criterios Latindex cumplidos	36
Evaladores externos	Sí
Apertura exterior de los autores	Sí
Internacionalidad de las contribuciones	4.35
Categoría ANEP	A

2. Publicación: “Effects of Muscle Fatigue Induced by Countermovement Jumps on Efficacy Parameters of Instep Ball Kicking in Soccer”.

Autores: Torreblanca-Martínez, V., Otero-Saborido, F. M., & Gonzalez-Jurado, J. A.

Fecha de publicación: Abril 2017.

Revista: Journal of Applied Biomechanics.

Categoría: Sport Sciences. Journal Citation Report 2016

Factor de Impacto: 1.053

Cuartil: 3º

3. Publicación: “Relationships between fitness test and kicking velocity in young soccer players”.

Autores: Torreblanca-Martinez, V., Gonzalez-Jurado, J. A., & Otero-Saborido, F. M.

Fecha de publicación: Abril 2017 (online).

Revista: Relationships between fitness test and kicking velocity in young soccer players.

Categoría: Sport Sciences. Journal Citation Report 2013

Factor de Impacto: 1.215

Cuartil: 3º

Así lo hacen constar los directores de Tesis, en Sevilla a 10 de Enero de 2018

José A. González Jurado; Fernando M. Otero Saborido



## Agradecimientos

Me gustaría comenzar este documento con unas palabras de agradecimiento para todas aquellas personas que han aportado, de un modo u otro, algo en todo mi proceso de formación, el cual culmina con esta Tesis doctoral.

A mis tutores, por su ayuda, comprensión y apoyo. En especial a José Antonio González Jurado, por su implicación más allá de lo académico, ya que de otra manera no se hubiera podido realizar una Tesis Sevilla-Granada-Madrid. Buena cuenta de ello dan las largas llamadas telefónicas y por Skype, los envíos de material, las búsquedas de huecos para concretar reuniones...

A todos los compañeros, entrenadores y preparadores físicos, así como a los clubes a los que pertenecen, que en varias ciudades nos han abierto las puertas de sus equipos para colaborar con los estudios publicados.

A mi amigo y compañero Matías Ramírez, por enseñarme a entender este maravilloso juego, primero como entrenador y luego como compañero. Todo “lo importante” que yo “sé” del juego, lo he aprendido de ti. Ojalá el fútbol me vuelva a dar la oportunidad de trabajar contigo.

A mis amigos y compañeros que iniciaron la carrera conmigo (Juanra, Edu y Pérez) por aportar conocimiento e interés y, en el caso de Eduardo, compartiendo hasta el último paso del camino juntos. Este camino te ha hecho un magnífico investigador, no dejes de luchar por tus ambiciones.

A mis amigos de toda la vida, “Pelú” y Álex por estar ahí desde los 6 años. Y a mi amigo Eu, por ser el mayor exponente de lucha y valor que he podido conocer. Con tu ejemplo, yo he aprendido a no rendirme.

A Marina, por todas las horas que indirectamente le has dedicado a esta Tesis y por sentir que cada avance es tan tuyo como mío. Por ser bondad, apoyo, comprensión, inteligencia, gratuidad y humildad, requisitos indispensables para que, sin saber nada del tema, te corresponda un buen trozo de este manuscrito.

A mi abuela Dora, porque aunque tú hoy no lo sepas, estarías muy orgullosa de este momento y, seguramente, me harías un precioso poema. A cambio, yo tengo que acordarme de ti.

A mi hermano Sergio. Por seguir mis pasos, lo cual es un gran orgullo para un hermano mayor. Sin embargo, intuyo que lo harás bastante mejor que yo.

A papá y mamá. Por apoyarme en cada paso que he dado, incluido éste, sin ni siquiera preguntar hacia dónde me llevaba, porque la confianza era absoluta. Por estar ahí en cada partido sin importar la distancia del pueblo o ciudad. Por llevarme a cada entrenamiento, aunque lloviera o tronara. Porque todos los niños soñamos con “vivir” de este hermoso deporte, pero vosotros con vuestros actos estabais educando en el esfuerzo y el trabajo, quizás sin saberlo, del que yo ahora soy un producto. Este es el resultado en el que, aunque no sea sobre el verde, se ve reflejado la pasión por el deporte que vosotros inculcasteis, apoyasteis y respetasteis, la cual se ha convertido en mi modo de vida.

## Preámbulo

Esta Tesis doctoral está compuesta por un compendio de publicaciones cuyo eje central es el análisis del efecto de la fatiga sobre parámetros de rendimiento en la acción de golpeo en fútbol.

Tras la introducción, se describen los objetivos de la Tesis, así como las publicaciones dentro del compendio de artículos en las que se abordan tales objetivos.

A continuación se desarrolla el marco teórico en el que se sustentan las publicaciones realizadas. Este marco teórico se desarrolla en tres capítulos, en el que se analizan los efectos de la fatiga en el golpeo (velocidad y precisión), los métodos utilizados para inducir fatiga en el golpeo, así como los diferentes métodos utilizados para medir los factores determinantes del golpeo.

Posteriormente se desarrolla la parte empírica de la Tesis doctoral. En ella se incluyen dos artículos publicados en revistas del Journal Citation Reports y un artículo publicado en una revista indexada en SCOPUS.

En el apartado “Otras aportaciones científicas derivadas de la Tesis doctoral” se expone otro artículo realizado, que se encuentra en proceso de revisión en una revista del Journal Citation Reports.

Por último, se ofrecen las conclusiones generales de la Tesis doctoral, así como aplicaciones prácticas, limitaciones y futuras líneas de investigación.



# Efectos de la fatiga sobre parámetros de rendimiento en el golpeo de balón en fútbol.

## INDICE

### Contenido

INDICE .....	2
1. Introducción .....	7
1.1 La acción de golpeo en el fútbol.....	7
1.2. La fatiga en el fútbol .....	10
1.3. Referencias .....	17
2. Objetivos .....	20
3. Efectos de la fatiga en el golpeo .....	22
3.1. Efectos de la fatiga en la velocidad del golpeo .....	22
3.2. Efectos de la fatiga en la precisión del golpeo .....	25
3.3. Referencias .....	29
4. La inducción de fatiga en el golpeo .....	31
4.1. Métodos utilizados .....	31
4.2. Cuantificación de la fatiga en el golpeo.....	35
4.3. Referencias .....	40
5. Métodos utilizados para medir los factores determinantes del golpeo .....	42
5.1. Medición de la velocidad.....	42
5.2. Medición de la precisión .....	43
5.3. Referencias bibliográficas .....	49
6. Publicaciones aportadas .....	54
6.1. Estudio 1. Características antropométricas y de rendimiento físico en futbolistas sub-11 según el nivel competitivo/Anthropometric and fitness performance characteristics in under-11 football players by competitive level.....	54
6.1.1. Introducción .....	54
6.1.2. Material y método .....	55
6.1.3. Resultados .....	59
3.3.4. Discusión.....	62
3.1.5. Conclusión.....	65
3.1.6. Bibliografía.....	65

6.2. Estudio 2. Effects of muscle fatigue induced by countermovement jumps on efficacy parameters of instep ball kicking in soccer / Efectos de la fatiga muscular inducida por medio de saltos con contramovimiento en parámetros de eficacia en el golpeo en fútbol .....	69
6.2.1. Introducción .....	69
6.2.2. Métodos.....	71
6.2.3. Resultados .....	77
6.2.4. Discusión.....	81
6.2.5. Conclusiones .....	84
6.2.6. Referencias bibliográficas .....	84
6.3. Estudio 3. Relationships between fitness test and kicking velocity in young soccer players. / Relaciones entre test físicos y la velocidad de golpeo en jugadores jóvenes de fútbol .....	88
6.3.1. Introducción .....	88
6.3.2. Métodos.....	90
6.3.3. Resultados .....	93
6.3.4. Discusión.....	97
6.2.5. Conclusiones .....	100
6.2.6. Aplicaciones prácticas .....	100
6.2.7. Referencias bibliográficas .....	101
7. Conclusiones .....	106
8. Aplicaciones prácticas.....	107
9. Limitaciones.....	109
10. Futuras líneas de investigación.....	110
ANEXO 1. Publicaciones científicas derivadas de la Tesis doctoral .....	112
ANEXO 2. Otras aportaciones científicas derivadas de la Tesis doctoral.....	
Estudio 4. Is fatigue induced by repeated-sprint related to kicking accuracy and velocity, in female soccer players?. / ¿Se relaciona la fatiga inducida por medio de esprines repetidos con la precisión y la velocidad del golpeo y jugadoras de fútbol?.....	

## **Relación de tablas.**

**Tabla 3.1.** Resumen de los estudios que han medido los efectos de la fatiga en factores determinantes del golpeo. *Página 28.*

**Tabla 6.1.1.** Análisis descriptivo de las variables estudiadas. *Página 60.*

**Tabla 6.1.2.** Comparación de los resultados entre grupos “élite” y “no elite”. *Página 61.*

**Tabla 6.2.1.** Velocidad del pie en cada sujeto con y sin fatiga. *Página 78.*

**Tabla 6.2.2.** Velocidad del pie (m/s) y altura en CMJ (cm) sin fatiga vs. con fatiga (Media±DE). *Página 80.*

**Tabla 6.3.1.** Análisis descriptivo de las variables estudiadas. *Página 94.*

**Tabla 6.3.2.** Correlación entre medidas antropométricas, medidas fisiológicas y velocidad de golpeo. *Página 95.*

**Tabla 6.3.3.** Predictores de condición física para la máxima velocidad de golpeo. *Página 96.*

**Tabla 6.3.4.** Predictores antropométricos para la máxima velocidad de golpeo. *Página 97.*

## **Relación de figuras.**

**Figura 1.1.** Ilustración del ciclo del arco de estiramiento-acortamiento (Lees et al., 2010). *Página 8.*

**Figura 1.2.** Correlación entre lactato muscular y sanguíneo en ejercicio continuo, test YOYO y partido de fútbol (Bangsbo et al., 2006). *Página 13.*

**Figura 1.3.** Medidas repetidas de temperatura muscular durante un partido amistoso (n=8) (Mohr et al., 2005). *Página 15.*

**Figura 1.4.** Concentraciones de ácidos grasos libres en el plasma durante un partido en 3 jugadores (Bangsbo et al., 2007). *Página 16.*

**Figura 3.1.** Valores de velocidad máxima de balón (m/s) tras la realización de cada uno de los circuitos (Ferraz et al., 2012). *Página 24.*

**Figura 3.2.** Desviación del golpeo con respecto al objetivo (Russell et al., 2011). *Página 26.*

**Figura 3.3.** Éxito en golpeo al golpear los objetivos establecidos (Russell et al., 2011). *Página 27.*

**Figura 4.1.** Protocolo del grupo experimental y del grupo control en Radman et al, 2016. *Página 32.*

**Figura 4.2.** Diseño del circuito de Ferraz et al (Ferraz et al., 2012). *Página 33.*

**Figura 4.3.** Resumen de los métodos utilizados para inducir fatiga en el golpeo en fútbol y de las variables para cuantificarla. *Página 39.*

**Figura 5.1.** Área de puntuación del LSST (Ali, Williams, Hulse, et al., 2007). *Página 43.*

**Figura 5.2.** Representación esquemática del LSST (Ali, Williams, Hulse, et al., 2007). *Página 45.*

**Figura 5.3.** Diana de golpeo en Bjelica et al, 2013. *Página 46.*

**Figura 5.4.** Zonas de puntuación en Radman et al, 2016. *Página 47.*

**Figura 5.5.** Esquema del protocolo de golpeo en Radman et al, 2016. *Página 48.*

**Figura 5.6.** Vista frontal de la diana propuesta por Finnoff et al, 2002. *Página 49.*

**Figura 6.2.1.** Ubicación de las cámaras del sistema óptico de seguimiento para la captura del movimiento del sistema CLIMA. *Página 72.*

**Figura 6.2.2.** Ubicación de los marcadores del sistema óptico de seguimiento para la captura del movimiento del sistema CLIMA. *Página 74.*

**Figura 6.2.3.** Protocolo y variables estudiadas. *Página 75.*

**Figura 6.2.4.** Comparación de los 5 primeros y los 5 últimos saltos CMJ en el test de saltos continuos y cambio en el test de fatiga.  $p < .0001$  en t de Student y tamaño del efecto de Cohen  $d = -1.8$  (grande). CMJ = Salto con contramovimiento. *Página 79.*

**Figura 6.2.5.** Correlación entre índice de fatiga y porcentaje de cambio en la velocidad del pie entre Vi y Vf ( $r = 0.149$ ;  $p = 0.596$ ). *Página 80.*

# 1. Introducción

## 1.1 La acción de golpeo en el fútbol

La acción de golpeo es definida como la capacidad del jugador de golpear conscientemente el balón, siendo la habilidad más estudiada en el fútbol (Rodríguez-Lorenzo, Fernandez-Del-Olmo, & Martín-Acero, 2015).

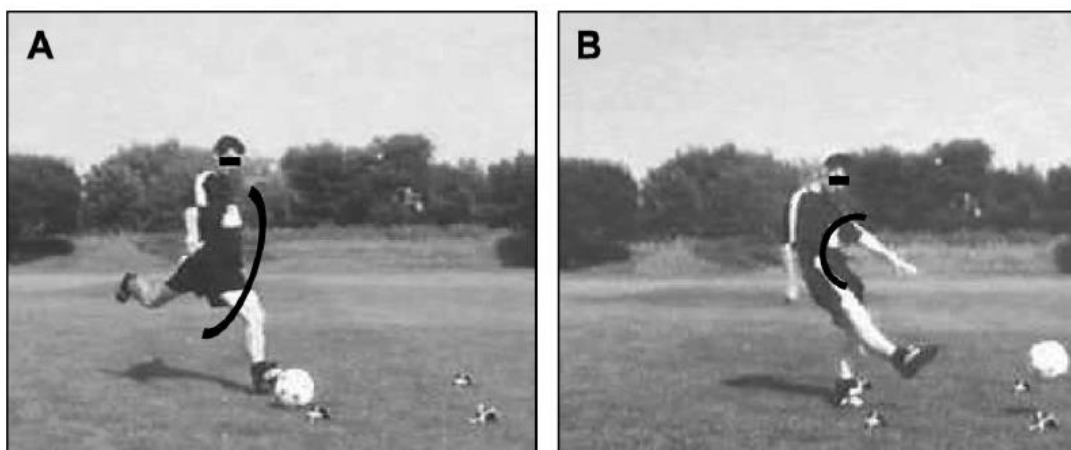
La importancia del gesto técnico de golpeo viene determinada por ser la acción definitiva del resultado de un partido (Lees, Asai, Andersen, Nunome, & Sterzing, 2010; Russell & Kingsley, 2011), consiguiéndose el 80,69% de los goles de un partido por medio de esta acción (Rodríguez-Lorenzo et al., 2015). Además, la relación existente entre golpes realizados y probabilidades de victoria en un partido ha sido reportada en varios estudios. Como ejemplos encontramos la fase de grupos de la copa del mundo de 2014 en la que se realizaron 13,3 disparos por partido, teniendo el equipo que más golpeó un 13% más de probabilidades de ganar y un 48% si estos disparos son a puerta (Liu, Gomez, Lago-Penas, & Sampaio, 2015). Destacar también el hecho de que el número de disparos totales realizados sea la variable más potente de las analizadas en las copas del mundo de 2002, 2006 y 2010 para ganar un partido (Castellano, Casamichana, & Lago, 2012).

A pesar de ser un gesto que incumbe a todo el cuerpo, la pierna de golpeo ha sido el factor más estudiado en el golpeo, dejando de lado otros aspectos que también podrían resultar importantes (Lees et al., 2010).

Jugadores profesionales realizan entre dos y cuatro pasos antes de realizar el golpeo, con un paso final que es más largo que el de jugadores no profesionales (Lees et al., 2010). Además, esta aproximación suele ser curva, lo cual podría explicarse por varios factores. En primer lugar, porque esta curva permite que el pie de golpeo se sitúe por debajo del balón, teniendo un mejor contacto con la pelota. En segundo lugar, esto permitiría una mayor extensión de la rodilla en el golpeo que llevaría a una mayor velocidad del pie (principal determinante de la velocidad del balón). Por último, contribuiría a dar una mayor estabilidad durante el gesto (Lees et al., 2010).

En cuanto a la parte superior del cuerpo, el brazo de la pierna que no golpea realiza un movimiento de abducción y extensión horizontalmente, para posteriormente realizar un

movimiento de aducción y flexión horizontal. Por otro lado se produce una rotación de hombros, así como un giro en la pelvis y en el tronco durante la fase de preparación. Tradicionalmente estos movimientos de brazos han sido atribuidos a la búsqueda del equilibrio, sin embargo algunos autores han dado una explicación más convincente, identificando un arco de tensión a lo largo del cuerpo, como expresión del ciclo de estiramiento-acortamiento (Lees et al., 2010).



**Figura 1.1.** Ilustración del ciclo del arco de estiramiento-acortamiento (Lees et al., 2010).

En cuanto a la pierna de apoyo, permanece flexionada durante la mayor parte del movimiento, extendiéndose en el momento de golpear el balón, estabilizando el gesto (Lees et al., 2010). Algunos estudios han reportado que colocar la pierna de apoyo lo más cerca posible de la posición de balón permitiría alcanzar una mayor velocidad de golpeo (Kapidzic, Huremovic, & Biberovic, 2014).

Centrándonos en la pierna de golpeo, parece ampliamente aceptado que nos encontramos ante un movimiento multiarticular, que se caracteriza por ser un sumatorio de fuerzas de proximal a distal dentro de la extremidad inferior (De Witt & Hinrichs, 2012; Kellis & Katis, 2007; Lees et al., 2010).

Encontramos diferentes movimientos dentro de la pierna de golpeo durante todo el gesto. Aunque varios estudios han distinguido diferentes fases dentro del gesto de golpeo para la pierna ejecutora, las sistematizaciones más sencillas distinguen entre la fase de retroceso, en la que la pierna va hacia atrás (si tomamos como referencia el eje central del

cuerpo), y la fase de balanceo, en la que la pierna va hacia delante, la cual finaliza con el contacto del pie con el balón (Kellis & Katis, 2007).

Durante el movimiento de retroceso se produce una extensión de la cadera en torno a los 30° con respecto a su posición inicial (entendiendo esta como una posición neutra). La cadera además produce un ligero movimiento de aducción y rotación externa. La rodilla se flexiona y rota internamente. Si consideramos una posición neutra del tobillo como 0°, se produce una flexión plantar del tobillo de unos 10° y una abducción de unos 20°, además de una ligera pronación. El movimiento hacia delante se inicia con una rotación de la pelvis alrededor de la pierna de apoyo, comenzando una extensión de rodilla y flexión de cadera con abducción y rotación externa que se prolongará hasta el impacto, encontrándose en este momento el tobillo en flexión plantar y aducción (~12°) (Kellis & Katis, 2007).

En medidas con electromiografía se han determinado que los músculos que más se activan durante el gesto serían el psoas iliaco, vasto lateral y medial además de, en algunos estudios, el bíceps femoral (Kellis & Katis, 2007). Hemos de tener en cuenta que estos datos sobre activación muscular podrían depender de la muestra estudiada, ya que se han reportado diferencias en la activación muscular entre jugadores profesionales y no profesionales, con una menor activación de los grupos musculares no implicados en el gesto en jugadores profesionales (Koshelskaja, Kapilevich, Bajenov, Andreev, & Buravel, 2012).

Parece ampliamente aceptado que la velocidad de salida del balón estará determinada por el sumatorio de velocidades lineales y angulares que alcance cada uno de los segmentos y articulaciones de la pierna de golpeo, así como por la coordinación entre estos segmentos (De Witt & Hinrichs, 2012). En concreto, será la velocidad del pie el factor más determinante para alcanzar una mayor velocidad de golpeo de balón (De Witt & Hinrichs, 2012; Kapidzic et al., 2014; Lees et al., 2010).

Sin embargo, hemos de tener en cuenta que la mayoría de estudios que describen los factores determinantes del golpeo están centrados en la velocidad, siendo los factores determinantes de la precisión mucho menos estudiados (Kellis & Katis, 2007; van den Tillaar & Fuglstad, 2016; van den Tillaar & Ulvik, 2014).



En el momento que se le da la orden al jugador de priorizar la precisión en el golpeo antes que la velocidad, se produce una disminución significativa en la velocidad del balón (Kellis & Katis, 2007; van den Tillaar & Fuglstad, 2016; van den Tillaar & Ulvik, 2014). Esta disminución en la velocidad del móvil es consecuencia de una disminución en la velocidad de cada segmento de la pierna de golpeo, así como de la consecuente disminución de la velocidad angular de las diferentes articulaciones (Kellis & Katis, 2007; van den Tillaar & Fuglstad, 2016). Además, la carrera de aproximación al balón es más lenta (van den Tillaar & Fuglstad, 2016).

### 1.2. La fatiga en el fútbol

En la literatura científica encontramos diferentes aproximaciones al concepto de fatiga:

- “Término usado para describir las sensaciones generales de cansancio y las reducciones acompañantes del rendimiento muscular” (Wilmore & Costill, 2004).
- “La fatiga refleja la incapacidad del músculo o del organismo en su conjunto para mantener la misma intensidad de esfuerzo” (Barbany, 2006).
- “Fallo para mantener una esperada o requerida producción de potencia” (Mohr, Krstrup, & Bangsbo, 2005).
- Calbet y Dorado (López-Chicharro & Fernández-Vaquero, 2006) sintetizan las diferentes definiciones de fatiga en dos afirmaciones:
  - La fatiga produce la disminución de la capacidad de esfuerzo o rendimiento (capacidad de trabajo).
  - La fatiga produce la disminución de la capacidad para generar fuerza máxima.

Ahora bien, debemos de adaptar el concepto de fatiga al contexto de cada deporte, en este caso, del fútbol. El primer aspecto en que debemos de hacer hincapié es en que nos encontramos, como en la mayoría de los deportes colectivos, ante un deporte de naturaleza intermitente (Bangsbo, Mohr, & Krstrup, 2006; Di Salvo et al., 2007). Por lo tanto, aunque las distancias totales cubiertas durante el juego suelen rondar los 11000 metros en jugadores profesionales (Bangsbo et al., 2006; Di Salvo et al., 2007; Mallo, Mena, Nevado, & Paredes, 2015), la mayor parte se realiza andando o a una intensidad

muy baja (Bangsbo et al., 2006; Di Salvo et al., 2007). Así, algunos estudios (Di Salvo et al., 2007) determinan que entre el 58,2 y el 69,4% del tiempo total del partido el jugador lo pasa andando y trotando a un ritmo suave (entre 0 y 11 km/h), entre el 13,4 y el 16,3% a una carrera de baja intensidad (11,1 y 14 km/h), entre 12,3-17,5% en carrera a moderada intensidad (14,1-19 km/h), entre 3,9 y 6,1 % en carrera a alta velocidad (19,1-23 km/h) y entre un 2,1 y 3,7% esprintando (>23 km/h). Bien es cierto que hemos de tener en cuenta que, tanto la distancia total cubierta, como las diferentes intensidades de carrera variarán en función del puesto específico del jugador (Bangsbo et al., 2006; Di Salvo et al., 2007; Mallo et al., 2015).

El anteriormente citado carácter intermitente del juego hace que a nivel metabólico nos encontremos con una alta sollicitación del sistema aeróbico pero, la realización de entre 150 y 250 acciones de alta intensidad durante el partido provocan que a su vez encontremos picos de alta sollicitación de factores anaeróbicos (Bangsbo, Iaia, & Krstrup, 2007; Bangsbo et al., 2006; Mohr et al., 2005).

Así, encontramos valores medios de entre el 70% y el 80% del consumo de oxígeno máximo durante el partido (Alexandre et al., 2012; Bangsbo et al., 2007; Bangsbo et al., 2006), datos que se obtienen a partir de métodos indirectos, como son la frecuencia cardiaca media y la temperatura corporal ya que, hasta la fecha, ningún estudio ha medido de forma directa el consumo de oxígeno máximo durante el juego, aunque sí en reproducciones de acciones del mismo (Bangsbo et al., 2007). A pesar de que factores como la hipertermia, la deshidratación o el elevado estrés mental eleven la tasa de frecuencia cardiaca sin influir sobre el consumo de oxígeno, la relación entre frecuencia cardiaca y consumo de oxígeno fueron similares en estudios que reproducen acciones del juego y carrera en cinta lo cual sugiere, con alguna excepción, que los valores de frecuencia cardiaca puedan ser utilizados para estimar la intensidad de trabajo relativo durante el juego (Bangsbo et al., 2007).

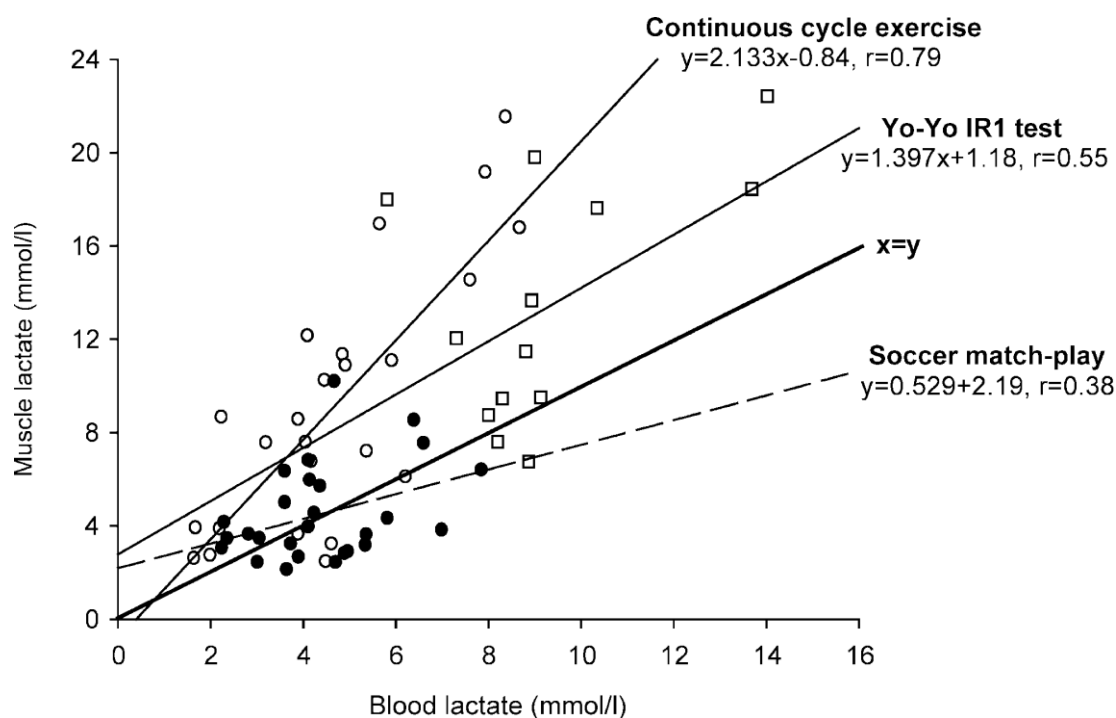
Dichos valores de frecuencia cardiaca durante el juego, según varios estudios, se sitúan en torno al 80-90 % de la frecuencia cardiaca máxima (Alexandre et al., 2012; Bangsbo et al., 2007; Bangsbo et al., 2006; Mallo et al., 2015; Torreno et al., 2016), con picos del 98% (Bangsbo et al., 2006).

En cuanto al nivel de lactato sanguíneo encontramos valores medios muy dispares entre los diferentes estudios, que van desde los 2-10 mMol/l (Bangsbo et al., 2007; Bangsbo et

al., 2006), a los 3-6 mMol/l (Mohr et al., 2005), o los 5-6 mMol/l (Krustrup et al., 2006), con sujetos que alcanzan picos de 12mMol/l (Bangsbo et al., 2007; Bangsbo et al., 2006; Mohr et al., 2005).

En referencia al nivel de lactato muscular, se han obtenido valores de entre 15,9 y 16,9 mMol/kg de musculo seco (Krustrup et al., 2006) y de 4 mMol/kg de músculo seco (Bangsbo et al., 2007).

Parece evidente que, además de la disparidad de resultados, existe una falta de correlación entre lactato muscular y sanguíneo cuando se toman datos durante partidos o simulaciones de juego (Bangsbo et al., 2007; Bangsbo et al., 2006; Krustrup et al., 2006). A diferencia del ejercicio continuo en el que encontramos correlaciones entre lactato muscular y sanguíneo, este aspecto no ocurre durante el ejercicio intermitente, debido probablemente al rápido aclaramiento del lactato muscular, aspecto que se ha reproducido en test como el YOYO (Bangsbo et al., 2007). Aparentemente durante el ejercicio intermitente en fútbol el lactato sanguíneo puede ser elevado a pesar de que las concentraciones de lactato muscular sean bajas. Por lo tanto, la elevada tasa de lactato sanguíneo podría no representar una elevada tasa de producción de lactato durante una acción espontánea, sino la acumulación de un elevado número de acciones de alta intensidad (Bangsbo et al., 2007; Bangsbo et al., 2006).



**Figura 1.2.** Correlación entre lactato muscular y sanguíneo en ejercicio continuo, test YOYO y partido de fútbol (Bangsbo et al., 2006).

Los niveles de glucosa sanguínea permanecen elevados durante todo el partido (Krustrup et al., 2006) y el pH es bajo durante el juego,  $>6,8$ . (Bangsbo et al., 2007).

Como consecuencia de las alteraciones metabólicas anteriormente descritas que se producen durante un partido, se ha reportado que la aparición de la fatiga podría tener alguna influencia en parámetros físicos, técnicos y tácticos durante el desarrollo de un encuentro.

Así, a nivel condicional, podemos observar como varios estudios han reportado una reducción de la capacidad para realizar acciones a alta intensidad cercana al final del partido (Bangsbo et al., 2007; Bangsbo et al., 2006; Mohr et al., 2005) o en la segunda parte (Torreno et al., 2016), así como una menor distancia cubierta durante la segunda parte (Bangsbo et al., 2006; Torreno et al., 2016).

A nivel táctico la fatiga podría estar relacionada con el desproporcionado número de goles que se consiguen durante los últimos 15 minutos de un encuentro (Williams & Reilly, 2003). Además, a nivel técnico se han realizado multitud de estudios analizando la

influencia de la fatiga en diferentes gestos técnicos, con disparidad de resultados. Dicha disparidad podría estar determinada por la imposibilidad de utilizar el propio partido como protocolo de ejercicio, así como por la falta de validez ecológica de algunos de los test propuestos, necesitando esta área una mayor investigación (Russell & Kingsley, 2011).

Se han identificado tres momentos en los que la fatiga aparece durante el juego a partir de una disminución del rendimiento: después de periodos intensos del juego (tanto en la primera como en la segunda parte), tras el descanso y cerca del final del partido (Mohr et al., 2005). Sin embargo, lo realmente difícil no es identificar que hay una disminución del rendimiento, sino cuáles son las causas de dicha disminución, ya que serían resultado de un número complejo de causas (Bangsbo et al., 2007).

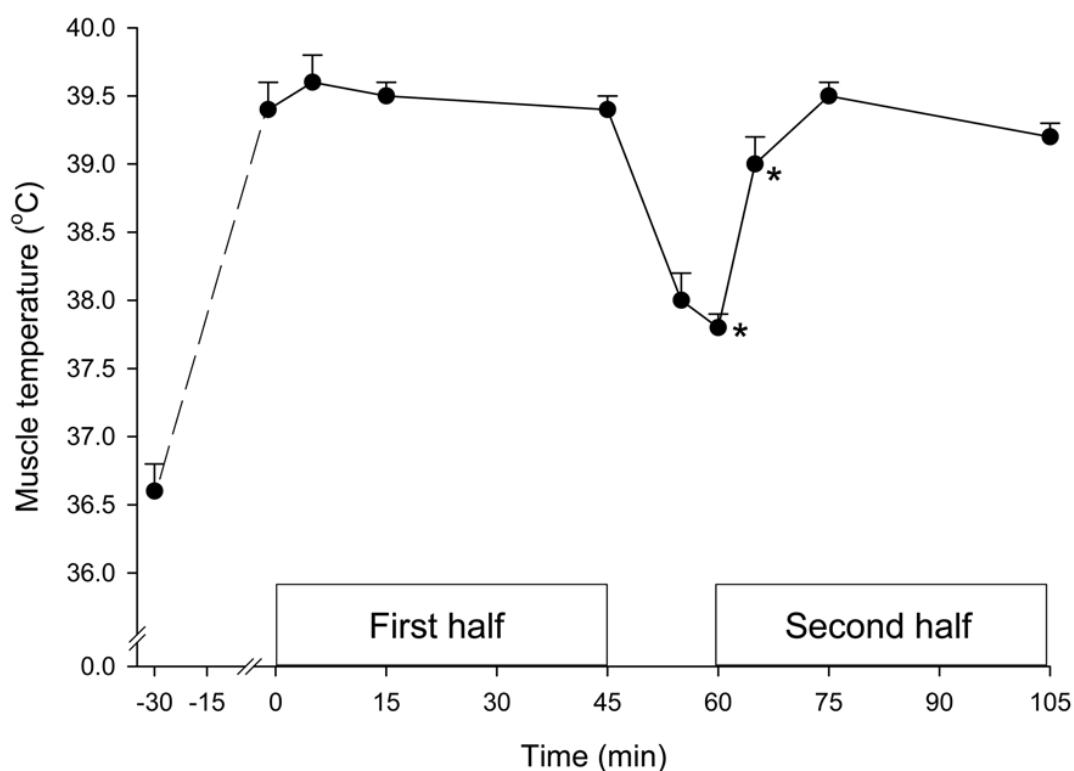
Se podría sugerir que la fatiga temporal durante el partido podría estar relacionada con altas concentraciones de lactato muscular y/o acidosis muscular, puesto que ha sido demostrado en situaciones "in vitro" que niveles de lactato elevados y bajos de pH, modifican el rendimiento durante contracciones intensas. Sin embargo los niveles de lactato que aparecen durante el juego son bajos comparados con aquellos que aparecen en pruebas hasta la extenuación. Por lo tanto, es poco probable que el elevado lactato o el bajo pH causen una disminución del rendimiento (Mohr et al., 2005). Bien es cierto que, los niveles de lactato muscular y sanguíneo que encontramos en ciertos sujetos en el juego (Bangsbo et al., 2007; Bangsbo et al., 2006; Mohr et al., 2005) sí pudieran ser la principal causa de una disminución temporal del rendimiento.

Otra hipótesis es que el desarrollo de fatiga que ocurre temporalmente durante el juego pudiera ser debido a concentraciones bajas de fosfato de creatina, ya que se ha demostrado que la suplementación con fosfato de creatina eleva el rendimiento en ejercicio intermitente (Mohr et al., 2005). Fosfato de creatina que, en cualquier caso, se recuperaría rápidamente durante los periodos de baja intensidad del juego (Bangsbo et al., 2007). Aunque algunos autores defiendan que en etapas finales del yoyo test no vemos una disminución de fosfato de creatina y, por tanto, que no es la causa de la disminución del rendimiento tras periodos intensos del juego (Mohr et al., 2005), hemos de tener en cuenta que las biopsias para determinar el nivel de fosfato de creatina muscular en jugadores de fútbol se han realizado, en muchos estudios, entre 15 y 30 segundos después de actividades de partido, lo que permitiría sin duda la recuperación de los niveles de fosfato

de creatina en el momento de las extracciones (Bangsbo et al., 2007), por tanto conviene tener precaución a la hora de interpretar estos datos.

Uniendo todos los datos anteriores, parece que la fatiga temporal no se relaciona con un elevado lactato muscular, una elevada acidosis del músculo o una baja creatina muscular (Bangsbo et al., 2007; Mohr et al., 2005). La fatiga que podría experimentarse en momentos determinados del juego estaría determinada por la acumulación de potasio extracelular así como por modificaciones eléctricas en la actividad de la célula muscular (Mohr et al., 2005).

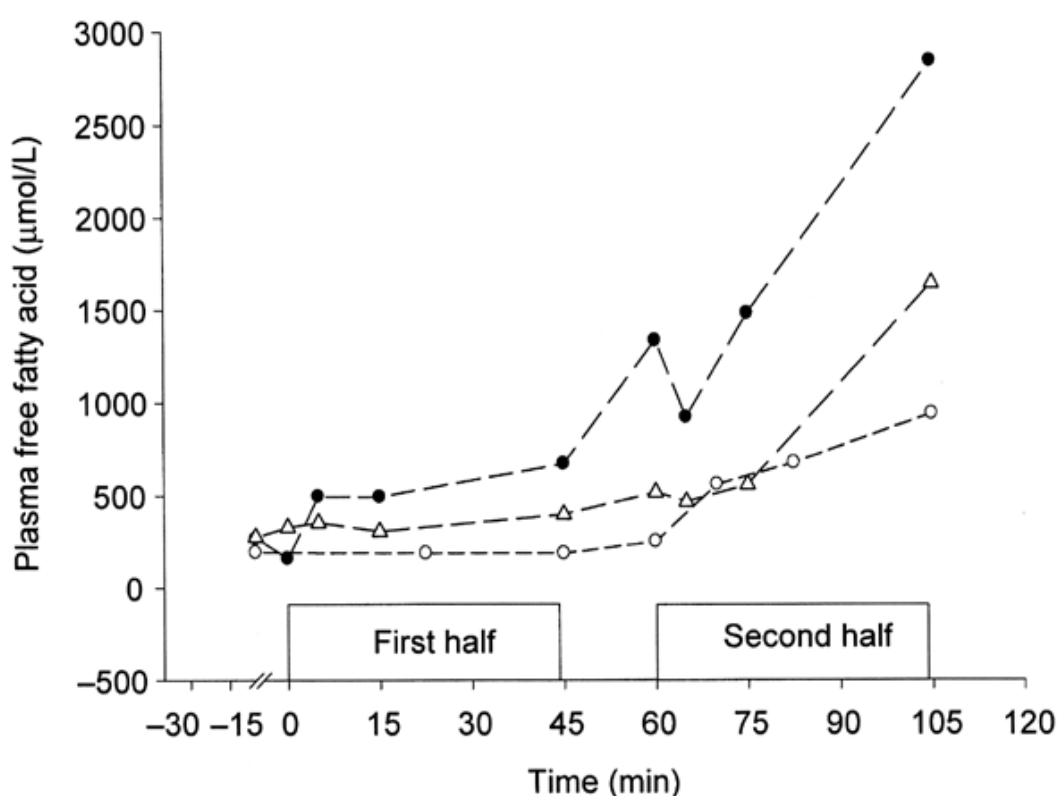
El segundo momento en el que se ha identificado una disminución del rendimiento durante el juego es tras el descanso. Esta podría producirse por una disminución de la temperatura muscular al inicio de la segunda parte en comparación con la primera parte (Mohr et al., 2005).



**Figura 1.3.** Medidas repetidas de temperatura muscular durante un partido amistoso (n=8) (Mohr et al., 2005).

Por último, el tercer momento en el que se produce una disminución del rendimiento durante el juego es cercano al final del partido.

Muestras sanguíneas tomadas al final del partido han demostrado que la concentración de lactato sanguíneo aumenta al final del partido (Mohr et al., 2005), con depleciones de glucógeno muscular al final del partido de entre el 40 y el 90 % (Bangsbo et al., 2007), mientras la liberación de ácidos grasos se incrementa, reflejando probablemente un cambio en la utilización de sustratos debido a la depleción de glucógeno de muchas fibras musculares (Bangsbo et al., 2007; Mohr et al., 2005).



**Figura 1.4.** Concentraciones de ácidos grasos libres en el plasma durante un partido en 3 jugadores (Bangsbo et al., 2007).

Análisis al final del partido revelan que los depósitos de glucógeno de casi la mitad de las fibras musculares se encuentran vacíos o casi vacíos, por lo tanto es probable que la depleción de glucógeno de estas fibras musculares no permitiera esfuerzos máximos en esprints individuales o repetidos (Bangsbo et al., 2007), aspecto que refuerza el anterior argumento.

Por tanto podemos asumir que, en la última etapa del partido, la disminución del rendimiento podría estar causado por la depleción de glucógeno muscular en fibras individuales, excepto en situaciones de estrés térmico, que estarían causadas por la deshidratación y por hipertermia (Mohr et al., 2005).

### 1.3. Referencias

- Alexandre, D., da Silva, C. D., Hill-Haas, S., Wong del, P., Natali, A. J., De Lima, J. R., . . . Karim, C. (2012). Heart rate monitoring in soccer: interest and limits during competitive match play and training, practical application. *J Strength Cond Res*, 26(10), 2890-2906. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182429ac7
- Bangsbo, J., Iaia, F. M., & Krstrup, P. (2007). Metabolic response and fatigue in soccer. *Int J Sports Physiol Perform*, 2(2), 111-127.
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J Sports Sci*, 24(7), 665-674. doi: 10.1080/02640410500482529
- Barbany, J. R. (2006). *Fisiología del ejercicio físico y del entrenamiento* Badalona: Paidotribo.
- Castellano, J., Casamichana, D., & Lago, C. (2012). The Use of Match Statistics that Discriminate Between Successful and Unsuccessful Soccer Teams. *J Hum Kinet*, 31, 139-147. doi: 10.2478/v10078-012-0015-7
- De Witt, J. K., & Hinrichs, R. N. (2012). Mechanical factors associated with the development of high ball velocity during an instep soccer kick. *Sports Biomech*, 11(3), 382-390. doi: 10.1080/14763141.2012.661757
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *Int J Sports Med*, 28(3), 222-227. doi: 10.1055/s-2006-924294
- Kapidzic, A., Huremovic, T., & Biberovic, A. (2014). Kinematic analysis of the instep kick in youth soccer players. *J Hum Kinet*, 42, 81-90. doi: 10.2478/hukin-2014-0063



- Kellis, E., & Katis, A. (2007). Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *J Sports Sci Med*, 6(2), 154-165.
- Koshelskaja, E. V., Kapilevich, L. V., Bajenov, V. N., Andreev, V. I., & Buravel, O. I. (2012). Physiological and biomechanical characteristics of the kick and goal techniques of football players. *Bull Exp Biol Med*, 153(2), 266-268.
- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjaer, M., & Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Med Sci Sports Exerc*, 38(6), 1165-1174. doi: 10.1249/01.mss.0000222845.89262.cd
- Lees, A., Asai, T., Andersen, T. B., Nunome, H., & Sterzing, T. (2010). The biomechanics of kicking in soccer: a review. *J Sports Sci*, 28(8), 805-817. doi: 10.1080/02640414.2010.481305
- Liu, H., Gomez, M. A., Lago-Penas, C., & Sampaio, J. (2015). Match statistics related to winning in the group stage of 2014 Brazil FIFA World Cup. *J Sports Sci*, 33(12), 1205-1213. doi: 10.1080/02640414.2015.1022578
- López-Chicharro, J., & Fernández-Vaquero, A. (2006). *Fisiología del ejercicio*. Madrid: Editorial Panamericana.
- Mallo, J., Mena, E., Nevado, F., & Paredes, V. (2015). Physical Demands of Top-Class Soccer Friendly Matches in Relation to a Playing Position Using Global Positioning System Technology. *J Hum Kinet*, 47, 179-188. doi: 10.1515/hukin-2015-0073
- Mohr, M., Krustrup, P., & Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: a brief review. *J Sports Sci*, 23(6), 593-599. doi: 10.1080/02640410400021286
- Rodríguez-Lorenzo, L., Fernandez-Del-Olmo, M., & Martín-Acero, R. (2015). A critical review of the technique parameters and sample features of maximal kicking velocity in soccer. *Strength and Conditioning Journal*, 37(5), 26-39. doi: 10.1519/SSC.0000000000000172
- Russell, M., & Kingsley, M. (2011). Influence of exercise on skill proficiency in soccer. *Sports Med*, 41(7), 523-539. doi: 10.2165/11589130-000000000-00000

- Torreno, N., Munguia-Izquierdo, D., Coutts, A., de Villarreal, E. S., Asian-Clemente, J., & Suarez-Arrones, L. (2016). Relationship Between External and Internal Loads of Professional Soccer Players During Full Matches in Official Games Using Global Positioning Systems and Heart-Rate Technology. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(7), 940-946. doi: 10.1123/ijsp.2015-0252
- van den Tillaar, R., & Fuglstad, P. (2016). Effect of Instructions Prioritizing Speed or Accuracy on Kinematics and Kicking Performance in Football Players. *J Mot Behav*, 1-8. doi: 10.1080/00222895.2016.1219311
- van den Tillaar, R., & Ulvik, A. (2014). Influence of instruction on velocity and accuracy in soccer kicking of experienced soccer players. *J Mot Behav*, 46(5), 287-291. doi: 10.1080/00222895.2014.898609
- Wilmore, J., & Costill, D. (2004). *Fisiología del esfuerzo y del deporte*. Barcelona: Paidotribo.
- Williams, A. M., & Reilly, T. (2003). *Science and Soccer*. Londres: Routledge.

## 2. Objetivos

Objetivo general:

- Determinar los efectos de la fatiga sobre parámetros de rendimiento en el golpeo de balón en fútbol.

Objetivos específicos:

- Determinar las diferencias antropométricas y en el rendimiento físico en jugadores de fútbol sub-11 en función del nivel competitivo. En *“Características antropométricas y de rendimiento físico en futbolistas sub-11 según el nivel competitivo”*.
- Investigar el efecto de la fatiga muscular inducida por saltos CMJ en la velocidad de golpeo en jugadores de fútbol. En *“Effects of muscle fatigue induced by countermovement jumps on efficacy parameters of instep ball kicking in soccer”*.
- Examinar las correlaciones entre la máxima velocidad de golpeo y test físicos en jugadores jóvenes. En *“Relationships between fitness test and kicking velocity in young soccer players”*.
- Analizar el efecto de la fatiga inducida por esprines repetidos en la velocidad y la precisión del golpeo en jugadoras de fútbol. En *“Is fatigue induced by repeated-sprint related to kicking accuracy and velocity, in female soccer players?”* (artículo en revision en la revista “Kinesiology”, incluido en ANEXO 2).

# MARCO TEÓRICO

## 3. Efectos de la fatiga en el golpeo

### 3.1. Efectos de la fatiga en la velocidad del golpeo

Determinar el efecto de la fatiga en la velocidad de golpeo de balón ha sido el objeto de multitud de investigaciones. Sin embargo, no se llega a un resultado concluyente que nos permita afirmar que dicha acción se vea afectada o no por la fatiga, ya que encontramos varios estudios en los que se observa una reducción de la velocidad de golpeo tras la aplicación de un determinado protocolo de fatiga (Aprianono, Nunome, Ikegami, & Sano, 2006; Ferraz et al., 2011; Katis, Amiridis, Kellis, & Lees, 2014; Kellis, Katis, & Vrabas, 2006; Radman et al., 2016), mientras que en otros se determina que la fatiga no es un factor determinante para provocar una reducción en la velocidad de golpeo (Juárez, de Subijana, Mallo, & Navarro, 2011; Russell, Benton, & Kingsley, 2011; Zemková & Hamar, 2009), e incluso, encontramos investigaciones en los que la hipótesis de que la fatiga afecta negativamente a la velocidad de golpeo es aceptada tan solo parcialmente (Ferraz, van den Tillaar, & Marques, 2012).

En 2006, Kellis et al (Kellis et al., 2006), realizan un circuito intermitente para inducir fatiga en 10 jugadores amateurs. Dicho protocolo intenta simular las condiciones de un partido, con 90 minutos de ejercicios intermitentes. La distancia total son 9600 m, que incluyen 60 metros caminando, 15 metros esprintando, 60 trotando y 60 corriendo en cada vuelta al circuito. Se realizan tres golpes antes del protocolo de fatiga, tres golpes en el descanso, así como tres golpes al final de los 90 minutos, controlando valores de lactato, frecuencia cardiaca y amonio. También se mide la velocidad del muslo, de la espinilla y del pie. Se produce una reducción significativa de la velocidad del balón, del pie y de la espinilla tanto en el descanso como al final de la simulación, concluyendo que la fatiga afecta a la velocidad de golpeo.

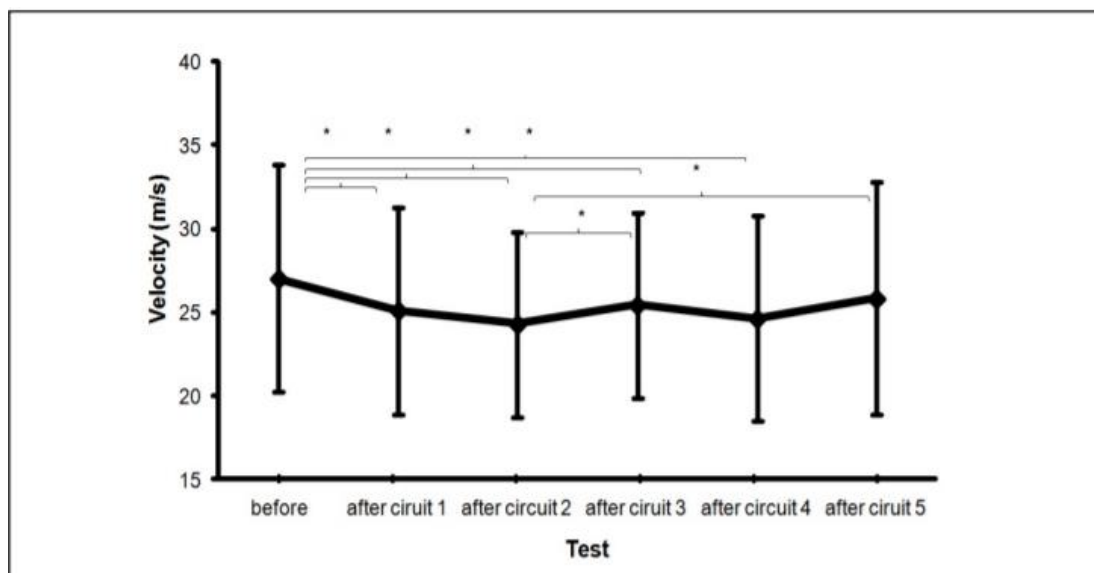
En otro estudio (Aprianono et al., 2006), 7 jugadores de fútbol universitario son sometidos a un protocolo de fatiga consistente en extensiones y flexiones de rodilla hasta la extenuación con el 40 y el 50 % del peso corporal respectivamente. La velocidad de golpeo del balón, en los 5 disparos posteriores a la aplicación del protocolo de fatiga, disminuye significativamente, así como la velocidad del pie y la velocidad angular de toda la extremidad inferior. La velocidad del muslo es la única variable que, sin embargo, no experimenta una reducción significativa de la velocidad en el segundo test.

Otras investigaciones han tenido como objetivo determinar el efecto de la propia competición en determinadas acciones de carácter neuromuscular, incluyendo el gesto de golpeo (Zemková & Hamar, 2009). Para ello se compara la velocidad de golpeo previa al partido con la que se obtiene tanto en el descanso del mismo como al final. Aunque existe una ligera reducción de la velocidad de golpeo en los 10 jugadores en los que se realiza el estudio, esta no llega a ser estadísticamente significativa, por lo que se concluye que la velocidad de golpeo no se ve afectada por la fatiga inducida por la propia competición.

Juarez et al (2011), analizan el efecto de un protocolo de fatiga basado en carrera al 80% de la frecuencia cardiaca máxima tanto en el salto CMJ como en la velocidad de golpeo, en jugadores de fútbol juveniles. Los autores no encuentran diferencias significativas ni en la velocidad de golpeo de balón, ni en las velocidades de pie, tobillo, rodilla y cadera entre los golpes previos al protocolo de fatiga y los posteriores.

Ferraz et al (2011) realizan un estudio piloto en el que tienen como objetivo determinar la influencia de la fatiga en el golpeo. Para ello, tras realizar dos golpes iniciales, 9 jugadores experimentados realizan un circuito de 2 minutos con diferentes acciones de juego, debiendo de finalizar dicho circuito a una intensidad de entre el 85% y el 95% de la frecuencia cardiaca máxima antes de volver a golpear. Además de la obvia diferencia estadísticamente significativa en valores de frecuencia cardiaca pre y post circuito, se produce una reducción significativa en la velocidad de golpeo de balón, concluyendo los autores que la fatiga afecta negativamente a la velocidad de golpeo.

Un año después, la mayoría de los autores del anterior estudio vuelven a intentar determinar el efecto de la fatiga en el golpeo (Ferraz et al., 2012). Para ello, se vuelve a realizar un circuito con diferentes gestos pero, en este caso, controlando los niveles de lactato sanguíneo y percepción subjetiva del esfuerzo, además de los valores de frecuencia cardiaca. El circuito se realiza en 5 ocasiones, tomando muestras tanto de las variables determinantes de existencia de fatiga (frecuencia cardiaca, lactato y percepción subjetiva del esfuerzo), como de la velocidad de golpeo de balón al final de cada vuelta al circuito. La hipótesis inicial de que la velocidad de golpeo de balón es influenciada negativamente por la fatiga es aceptada parcialmente, ya que los resultados muestran como, aunque se produce un decremento significativo de la velocidad en la primera, segunda, tercera y cuarta vuelta al circuito, pero posteriormente la velocidad máxima de golpeo vuelve a aumentar en la quinta vuelta.



**Figura 3.1.** Valores de velocidad máxima de balón (m/s) tras la realización de cada uno de los circuitos (Ferraz et al., 2012).

Este estudio también utiliza valores de velocidad media entre los tres intentos que se realizan tras cada vuelta al circuito, obteniendo significatividad estadística entre la situación previa y el primer, segundo y cuarto circuito.

Russell et al (2011), intentan determinar cuál es el efecto de la fatiga en determinadas acciones técnicas en fútbol, entre ellas, la velocidad en el golpeo de balón. Para ello, se colocan diferentes señales luminosas de 1 metro en las esquinas de una portería, considerados como los lugares más difíciles para que el portero alcance el balón durante un partido y, además de la precisión, se mide la velocidad a la que se golpea, aunque bien es cierto que en ningún momento se da la orden al futbolista de golpear a máxima velocidad, sino que el objetivo es acertar en los objetivos luminosos propuestos. El test de fatiga consiste en una simulación de partido de 90 minutos con diferentes gestos técnicos, con 15 minutos de descanso y pruebas de las diferentes habilidades cada 15 minutos, con tomas de lactato sanguíneo, monitorización de la frecuencia cardiaca y percepción subjetiva del esfuerzo. Aunque la frecuencia cardiaca media fue de 173 pulsaciones por minuto y los valores de lactato sanguíneo y percepción subjetiva del esfuerzo son significativos a partir del minuto 15, la velocidad de golpeo de balón no

disminuye significativamente durante toda la simulación con respecto a los golpes realizados antes de la misma.

Algunos estudios han intentado determinar cuánto dura el efecto de la reducción de la velocidad a causa de la fatiga en el golpeo. Es el caso de Katis et al (2014) que proponen una serie de golpes continuos en futbolistas hombres y mujeres, tras la aplicación de un protocolo de fatiga consistente en carrera en cinta hasta la extenuación. Al no medir directamente la velocidad de balón, los autores se basan en la reducción de la velocidad de tobillo, rodilla y cadera para determinar que la fatiga afecta al golpeo y que los valores de velocidad de dichas articulaciones recuperan los valores previos a la aplicación del protocolo de fatiga un minuto después de la finalización de dicho protocolo. Por tanto, la conclusión de este estudio es que la velocidad de golpeo solo se ve afectada momentáneamente por la fatiga. Un aspecto a resaltar de este estudio es que no encuentra diferencias entre hombres y mujeres en sus resultados.

Por último, otros estudios (Radman et al., 2016) se han centrado en intentar determinar a partir de qué valores de fatiga se produce una reducción significativa de la velocidad de golpeo. Para ello se realiza un test incremental, una modificación del test de Leger en el que se realizan disparos tras superar cada uno de los periodos, tomando como variables de fatiga la frecuencia cardiaca, niveles de lactato sanguíneo y percepción subjetiva del esfuerzo. El protocolo de fatiga afecta a la velocidad de golpeo en valores cercanos al segundo umbral de lactato ( $LT_2$ ), llegando los autores a la conclusión de que la velocidad de golpeo solo se ve afectada en condiciones de ejercicio de alta intensidad.

### **3.2. Efectos de la fatiga en la precisión del golpeo**

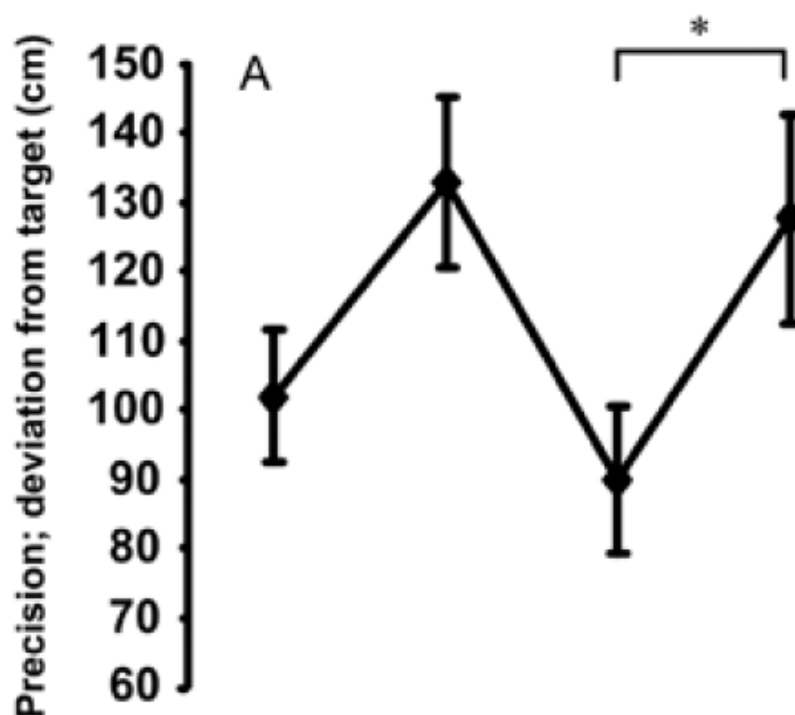
La literatura científica con respecto al estudio del efecto de la fatiga en la precisión del golpeo es más reducida que en lo referente a la velocidad. Sin embargo, en la mayor parte de las investigaciones que encontramos la fatiga influye sobre la precisión en el golpeo (Bjelica, Popovic, & Petković, 2013; Radman et al., 2016; Stone & Oliver, 2009), aunque en algunos casos solo sea parcialmente y con resultados confusos (Russell et al., 2011).

Stone & Oliver (2009), realizan un protocolo de fatiga basado en un ejercicio intermitente durante 45 minutos (3 series de 15 minutos), tras la realización de un test de dribbling y del Loughborough Soccer Shooting Test, que mide la precisión en el golpeo. Tras repetir

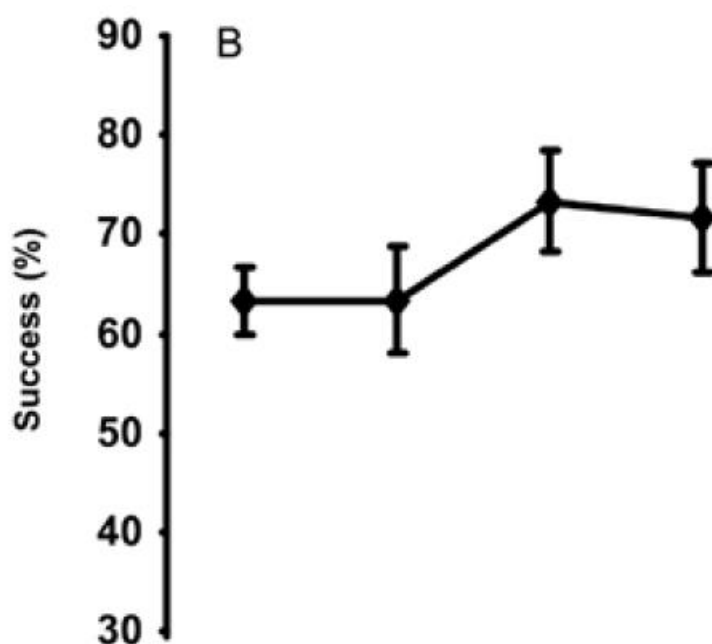


el test después del protocolo de fatiga se determina que la precisión en el golpeo se reduce significativamente con la aparición de la fatiga. La fatiga se controla mediante la medida de la frecuencia cardiaca, golpeando los 9 jugadores en el segundo test en una media correspondiente al 78% de la estimación de la frecuencia cardiaca máxima.

Dos años más tarde, se intenta determinar el efecto de la fatiga en diversos gestos técnicos, entre ellos, en la precisión del golpeo (Russell et al., 2011). Además del anteriormente citado estudio de los efectos de la fatiga sobre la velocidad de golpeo, los autores proponen determinar el efecto sobre la precisión mediante el golpeo a señales luminosas situadas en las esquinas de una portería durante una simulación de 90 minutos, midiendo tanto el éxito al golpear en dicha zona como la distancia que se desvía dicho golpeo del objetivo. Aunque los autores llegan a la conclusión de que la precisión en el golpeo se ve afectada por la fatiga, los resultados son confusos, ya que, en la variable “éxito en el golpeo” (que determina si se golpea en una de las señales luminosas o no), no se obtienen valores significativos con respecto a los valores iniciales en los 90 minutos de simulación y, en cuanto a la variable “distancia del objetivo” (que determina cuánto se aleja el golpeo de una de las señales luminosas establecidas), solo se obtienen valores significativos entre los datos previos a la segunda parte y los finales.



**Figura 3.2.** Desviación del golpeo con respecto al objetivo (Russell et al., 2011).



**Figura 3.3.** Éxito en golpeo al golpear los objetivos establecidos (Russell et al., 2011).

En 2013, varios autores intentan determinar el efecto de la fatiga en el golpeo tras realizar diez sentadillas, tanto en la pierna dominante como en la no dominante (Bjelica et al., 2013). La frecuencia cardiaca se utiliza para determinar que, por debajo de 90 pulsaciones por minuto el jugador se encuentra en reposo. Para determinar la precisión, los autores utilizan la portería en forma de diana, estableciendo el centro de la misma como el centro de 17 circunferencias con diferente puntuación, de mayor a menor en función de la distancia al centro de la misma. La distancia al objetivo aumenta significativamente tras la aplicación del protocolo de fatiga.

Por último, hacer referencia al anteriormente citado artículo de Radman (2016), en el que además de la velocidad de golpeo se tiene en cuenta la precisión del mismo. Al igual que para la velocidad, los valores de precisión empiezan a verse afectados por la fatiga en valores cercanos al segundo umbral, en la realización del test de Leger modificado.

### 3. Efectos de la fatiga en el golpeo

**Tabla 3.1.** Resumen de los estudios que han medido los efectos de la fatiga en factores determinantes del golpeo.

Estudio	Autores	Año	Mide Velocidad	Cambios en la velocidad	Mide precisión	Cambios en la precisión
Effects of an intermittent exercise fatigue protocol on biomechanics of soccer kick performance	Kellis et al	2006	Sí	Disminución significativa	No	-
The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football	Apriantono et al	2006	Sí	Disminución significativa	No	-
The effect of 45 minutes of soccer-specific exercise on the performance of soccer skills.	Stone & Oliver	2009	No	-	Sí	Disminución significativa
The effect of soccer match induced fatigue on neuromuscular performance	Zemkova & Hamar	2009	Sí	Disminución no significativa	No	-
The Effects of Fatigue on Soccer Skills Performed During a Soccer Match Simulation	Russell et al	2011	Sí	Disminución no significativa	Sí	Disminución significativa
Acute effects of endurance exercise on jumping and kicking performance in top-class young soccer players	Juarez et al	2011	Sí	Aumento	No	-
A Pilot Study on the influence of fatigue on kicking velocity in the soccer players	Ferraz et al	2011	Sí	Disminución significativa	No	-
The effect of fatigue on kicking velocity in soccer players.	Ferraz et al	2012	Sí	Disminución parcial	No	-
Comparison of Instep Kicking Between Preferred and Non-Preferred Leg in Young Football Players	Bjeleica et al	2013	No	-	Sí	Disminución significativa
Recovery of Powerful Kick Biomechanics After Intense Running Fatigue in Male and Female Soccer Players	Katis et al	2014	Sí	Disminución significativa	No	-
The acute effects of graded physiological strain on soccer kicking performance: a randomized, controlled cross-over study	Radman et al	2016	Sí	Disminución significativa	Sí	Disminución significativa

### 3.3. Referencias

- Apriantono, T., Nunome, H., Ikegami, Y., & Sano, S. (2006). The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football. *J Sports Sci*, 24(9), 951-960. doi: 10.1080/02640410500386050
- Bjelica, D., Popovic, S., & Petković, J. (2013). Comparison of Instep Kicking Between Preferred and Non-Preferred Leg in Young Football Players. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*, 2(1), 5-10.
- Ferraz, R., van den Tillaar, R., Ferraz, S., Santos, A., Mendes, R., Marinho, D. A., . . . Marques, M. C. (2011). A pilot study on the influence of fatigue on kicking velocity in the soccer players. *Journal of Physical Education and Sport*, 11(2), 68-71.
- Ferraz, R., van den Tillaar, R., & Marques, M. C. (2012). The effect of fatigue on kicking velocity in soccer players. *J Hum Kinet*, 35, 97-107. doi: 10.2478/v10078-012-0083-8
- Juárez, D., de Subijana, C. L., Mallo, J., & Navarro, E. (2011). Acute effects of endurance exercise on jumping and kicking performance in top-class young soccer players. *European Journal of Sport Science*, 11(3), 191-196. doi: 10.1080/17461391.2010.500335
- Katis, A., Amiridis, I., Kellis, E., & Lees, A. (2014). Recovery of powerful kick biomechanics after intense running fatigue in male and female soccer players. *Asian J Sports Med*, 5(4), e24013. doi: 10.5812/asjms.24013
- Kellis, E., Katis, A., & Vrabas, I. S. (2006). Effects of an intermittent exercise fatigue protocol on biomechanics of soccer kick performance. *Scand J Med Sci Sports*, 16(5), 334-344. doi: 10.1111/j.1600-0838.2005.00496.x
- Radman, I., Wessner, B., Bachl, N., Ruzic, L., Hackl, M., Prpic, T., & Markovic, G. (2016). The acute effects of graded physiological strain on soccer kicking performance: a randomized, controlled cross-over study. *Eur J Appl Physiol*, 116(2), 373-382. doi: 10.1007/s00421-015-3293-7

- Russell, M., Benton, D., & Kingsley, M. (2011). The effects of fatigue on soccer skills performed during a soccer match simulation. *Int J Sports Physiol Perform*, 6(2), 221-233.
- Stone, K. J., & Oliver, J. L. (2009). The effect of 45 minutes of soccer-specific exercise on the performance of soccer skills. *Int J Sports Physiol Perform*, 4(2), 163-175.
- Zemková, E., & Hamar, D. (2009). The effect of soccer match induced fatigue on neuromuscular performance. *Kinesiology*, 41(2), 195-202.

## 4. La inducción de fatiga en el golpeo

### 4.1. Métodos utilizados

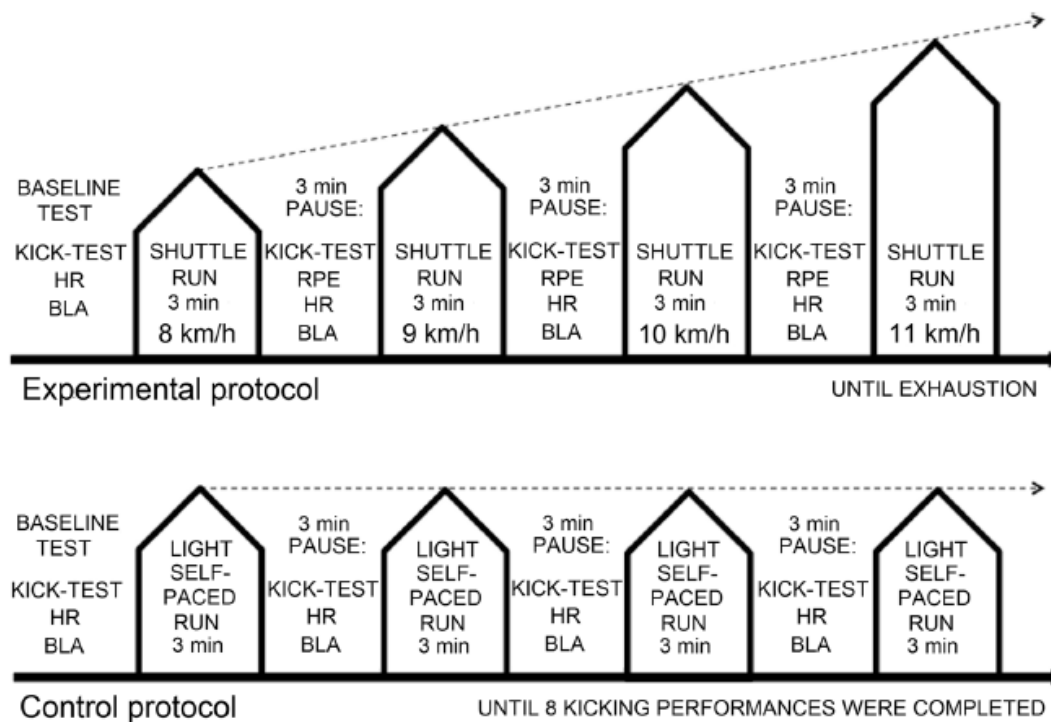
A la hora de inducir fatiga antes de realizar la acción de golpeo, los métodos que se han utilizado son muy heterogéneos, lo cual podría ser una de las causas de la disparidad de resultados que encontramos. Así, podemos clasificar los diferentes métodos de inducción de fatiga utilizados en cinco grandes grupos:

- La propia competición (Zemková & Hamar, 2009).
- Carreras en cinta (Juárez, de Subijana, Mallo, & Navarro, 2011; Katis, Amiridis, Kellis, & Lees, 2014).
- Test incrementales (Radman et al., 2016).
- Ejercicios intermitentes que simulan situaciones/esfuerzos de partido (Ferraz et al., 2011; Ferraz, van den Tillaar, & Marques, 2012; Kellis, Katis, & Vrabas, 2006; Russell, Benton, & Kingsley, 2011; Stone & Oliver, 2009).
- Ejercicios de fuerza (Aprianono, Nunome, Ikegami, & Sano, 2006; Bjelica, Popovic, & Petković, 2013).

Un estudio ha medido el efecto de la competición en la velocidad de golpeo (Zemková & Hamar, 2009). Por tanto, el protocolo se limita a medir antes, en el descanso y tras la competición las diferencias en diferentes habilidades, entre ellas el golpeo.

Se han publicado estudios en los se utilizan protocolos de carrera en cinta para inducir fatiga. En el primer caso (Juárez et al., 2011), se realiza carrera continua, al 80% de la frecuencia cardiaca máxima (calculada previamente en un test incremental), por lo tanto en la zona de transición aeróbico-anaeróbica, es decir, al 90-95% del umbral anaeróbico. En el segundo caso (Katis et al., 2014) la carrera es hasta la extenuación del sujeto. Se empieza corriendo a una velocidad de 10 km/h durante 2 minutos, incrementándose la velocidad a otros 12 km/h durante los siguientes dos minutos. A continuación se incrementa la inclinación de la cinta un 2% cada minuto, hasta un 12%. Si el sujeto sigue corriendo, se continúa incrementando la velocidad 1 km/h cada minuto hasta la extenuación.

Uno de los estudios más actuales utiliza un test incremental (Radman et al., 2016), que básicamente se diferencia de los anteriores en la presencia de giros durante la carrera. Los autores utilizan una modificación del test de Leger (Leger & Lambert, 1982), corriendo entre 2 líneas situadas a 20 metros con un ritmo marcado por una señal sonora que empieza a 8 km/h y se incrementa un km/h en cada nivel. La diferencia con el test original es que los niveles duran 3 minutos (en lugar de uno), con 3 minutos de descanso entre cada nivel, en el que se realizan los golpes. Además, en los últimos diez segundos de cada nivel el sujeto da su nivel de percepción subjetiva de esfuerzo. Utilizan un grupo control, que realiza el mismo protocolo pero sin aumentar la velocidad de carrera en cada nivel.

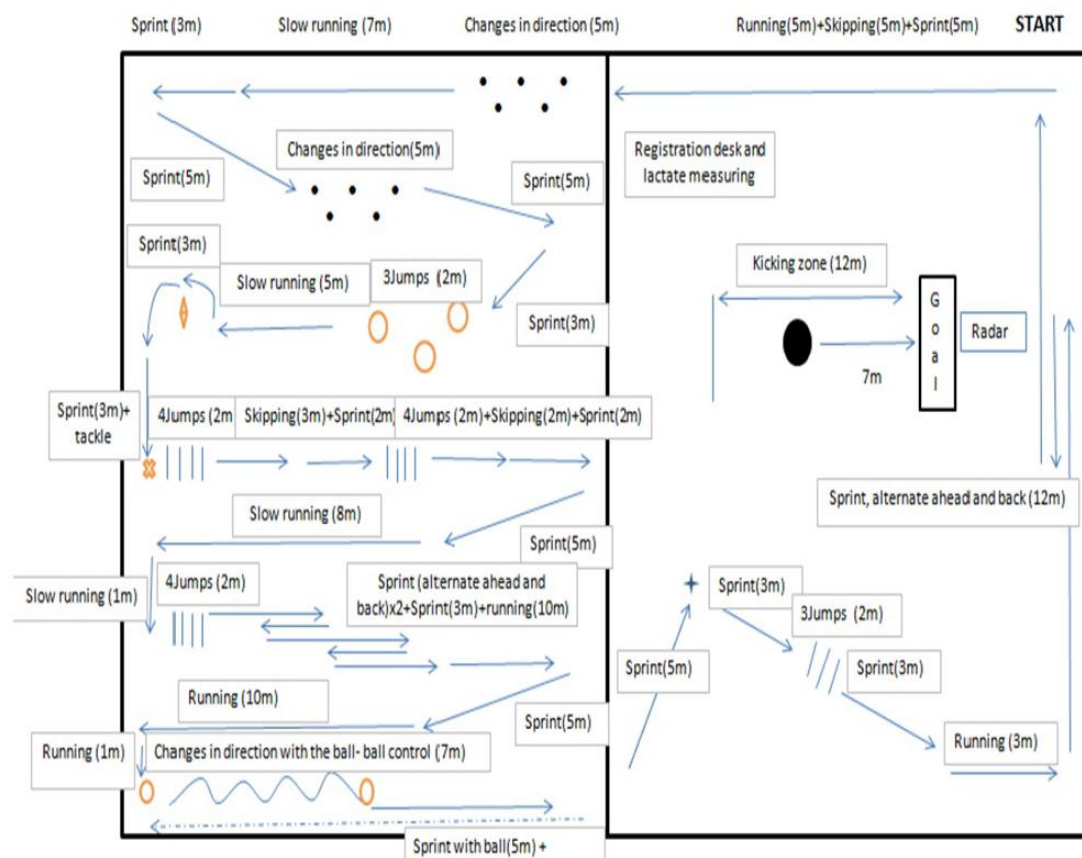


**Figura 4.1.** Protocolo del grupo experimental y del grupo control en Radman et al (2016).

Numéricamente encontramos un mayor número de estudios entre aquellos que clasificamos como simulaciones de partido. Estas simulaciones de partido se basan en repetir esfuerzos y/o gestos que los jugadores realizan durante un encuentro.

Ferraz et al (Ferraz et al., 2011) realizan un primer estudio con una simulación de partido en la que se golpea antes y al finalizar un circuito. El circuito está compuesto por acciones cortas y explosivas, que incluyen saltos, esprines, carreras, cambios de dirección... El circuito se tiene que finalizar a una intensidad del 85-95% de la frecuencia cardiaca máxima, calculada con la fórmula  $208-0.7 \times \text{edad}$ .

Un año después, la mayoría de los autores anteriores, repiten el estudio (Ferraz et al., 2012). Prácticamente encontramos las mismas actividades de alta intensidad, aunque con un cambio en la distribución dentro del terreno de juego de las acciones (que probablemente responda más a razones de espacio que a cualquier otro motivo). La principal diferencia con respecto al estudio anterior es que el circuito se realiza 5 veces, golpeando tras ejecutar cada una de ellas. Cada vuelta al circuito dura 90 segundos y entre cada una de las ejecuciones se descansa otros 90 segundos. Además, no existen premisas de finalizar el circuito en una intensidad determinada.



**Figura 4.2.** Diseño del circuito de Ferraz et al (2012)



Dentro de las simulaciones de esfuerzos de partido Kellis et al (2006) utilizan un protocolo previamente validado para simular condiciones de partido en fútbol (Gleeson, Reilly, Mercer, Rakowski, & Rees, 1998; McGregor, Nicholas, Lakomy, & Williams, 1999; Nicholas, Nuttall, & Williams, 2000). Los jugadores tienen que recorrer una distancia total de 9600 metros, divididos en 4 secciones de 12x200 metros. Cada 200 metros incluyen, 60 metros caminando, 15 metros esprintando (con 5 metros de desaceleración y 5 metros de andar recuperando), 60 metros trotando y 60 metros corriendo. La intensidad para cada una de las zonas se determina de la siguiente forma: el tiempo caminando se realiza a 1,54 m/s, el tiempo en esprint a máxima velocidad, el tiempo de caminar recuperando son 4 segundos, el tiempo de trote al 50-60% de la FC máxima y el tiempo de carrera al 80-90% de la FC máxima. Se golpea antes de empezar, al final del segundo circuito y del cuarto.

En el estudio de Russell et al (2011), la simulación de partido se realiza imitando el tiempo de juego, dos partes de 45 minutos con 15 minutos de descanso. En cada parte se repite 7 veces la realización de 4,5 minutos de ejercicio, test de pases y 1 minuto de recuperación. Dentro del tiempo de ejercicio, se realizan 20 metros caminando, esprint de 15 metros o 20 metros de conducción (en función de si en esa vuelta encontramos medida de la conducción de balón, ya que el estudio también la mide), 4 segundos de recuperación pasiva, 5 carreras de 20 metros al 40% del VO2 max y dos carreras de 20 metros al 85% del VO2 máximo. Al final de la simulación, los futbolistas recorren una distancia total de 10,1 km.

Stone & Oliver (2009) reducen la simulación de partido a 45 minutos. Para ello realizan bloques de ejercicio de 15 minutos, corriendo entre dos líneas, con 3 minutos de descanso al finalizar cada uno de los bloques. Los bloques están compuestos por 3 carreras de 20 metros a un ritmo de 5 km/h, una carrera de 15 metros a velocidad máxima con 5 metros de desaceleración, 3 carreras de 20 metros a una velocidad de 9 km/h y 3 carreras de 20 metros a 14 km/h.

Por último, hacer referencia a los estudios que utilizan ejercicios con un mayor carácter neuromuscular como protocolo de inducción de fatiga. En 2006 (Apriantono et al., 2006), se realizan flexiones y extensiones de rodilla en máquina hasta la extenuación, a un ritmo escogido personalmente por el ejecutor. Las cargas eran el 50% del peso corporal para las extensiones de rodilla y el 40% del peso corporal para las flexiones.

Posteriormente, Bjelika et al (Bjelika et al., 2013), utilizan un protocolo basado en realizar diez sentadillas antes de golpear. No se especifica la intensidad de esfuerzo realizada por los sujetos, ni siquiera si se realizaba con un peso adicional al propio cuerpo.

### 4.2. Cuantificación de la fatiga en el golpeo

Debido a la disparidad de protocolos de inducción de fatiga previos a la acción de golpeo, resulta importante analizar cómo se ha cuantificado dicha fatiga ya que, como hemos visto anteriormente, podría ser una de las causas de la disparidad de resultados entre las diversas investigaciones.

Diferentes variables han sido determinadas como cuantificadores de fatiga. Podríamos agrupar los estudios entre aquellos que utilizan la frecuencia cardiaca como determinante de fatiga (Ferraz et al., 2011; Ferraz et al., 2012; Juárez et al., 2011; Kellis et al., 2006; Radman et al., 2016; Russell et al., 2011; Stone & Oliver, 2009; Zemková & Hamar, 2009), el uso del lactato/amonio sanguíneo (Ferraz et al., 2012; Kellis et al., 2006; Radman et al., 2016; Stone & Oliver, 2009), el uso de la percepción subjetiva del esfuerzo (Ferraz et al., 2012; Radman et al., 2016; Russell et al., 2011; Zemková & Hamar, 2009) y la reducción del tiempo en esprint (Kellis et al., 2006; Russell et al., 2011). Por otro lado encontramos investigaciones que usan protocolos de fatiga hasta la extenuación sin medir otro tipo de variables fisiológicas (Apriantono et al., 2006; Katis et al., 2014) y aquellos estudios que no determinan ninguna variable para determinar el grado de fatiga alcanzada en el protocolo (Bjelika et al., 2013).

La mayoría de los estudios que obtienen datos de frecuencia cardiaca usan dicha variable para comparar valores previos y posteriores al test de fatiga y/o circuito, calculando la significatividad estadística entre ambas situaciones.

Este es el caso de Kellis et al (2006), encontrando diferencias significativas en valores de frecuencia cardiaca entre los valores previos a las 4 secciones de ejercicio y cada una de ellas, de Radman et al (2016) con diferencias significativas entre las 5 zonas de ejercicio que se determinan previamente a su protocolo hasta la extenuación y de Ferraz et al (2011) entre valores previos y posteriores al circuito de ejercicios. Dentro de este apartado, también encontramos estudios que no obtienen significatividad estadística en la frecuencia cardiaca entre los diferentes bloques de ejercicios durante 45 minutos (Stone & Oliver, 2009) y estudios en los que no se obtiene significatividad en algunos de los

circuitos propuestos o en los que no existe un aumento correlativo en la frecuencia cardiaca entre los diferentes circuitos (Ferraz et al., 2012).

Por otro lado, haciendo referencia a los estudios que usan frecuencia cardiaca como variable de fatiga tenemos estudios que no comparan entre diferentes situaciones, sino que simplemente nos ofrecen el valor medio y/o pico de dicha variable, o la utilizan como medida de control en el test. Es el caso de Russell et al (2011) con valores medios de frecuencia cardiaca durante el protocolo de 173 ppm, y valores máximos de 199 ppm. También de Juarez et al (2011) utilizando el 80% de la frecuencia cardiaca máxima como ritmo de carrera en cinta durante los 20 minutos que dura su protocolo.

Finalmente encontramos un estudio (Zemková & Hamar, 2009), que aunque referencia que utiliza la frecuencia cardiaca, ni expresa ni compara los datos obtenidos durante su investigación para dicha variable.

Tras la frecuencia cardiaca, las medidas de lactato y amonio sanguíneo han sido las más utilizadas. De hecho, todos los estudios que utilizan algunas de estas medidas también incluyen la frecuencia cardiaca, con una dinámica similar, comparando situaciones previas al protocolo de fatiga con circuitos o situaciones posteriores a dicho test.

Kellis et al (2006), utiliza muestras sanguíneas tanto de amonio como de lactato, obteniendo diferencias significativas entre el amonio sanguíneo en el test anterior al protocolo intermitente y los valores finales, así como entre el lactato previo a dicho protocolo y los valores obtenidos en el descanso y al final de los 90 minutos.

En el test incremental de Radman et al (2016), es obvio que se produce un incremento del lactato entre cada nivel y, por tanto, se obtienen diferencias significativas en esta variable entre cada una de las 5 zonas de ejercicio que posee el protocolo.

Por último, dentro de los estudios que utilizan el lactato, encontramos estudios en los que la diferencia significativa en esta variable con respecto a los valores previos se produce solo a partir de un cierto momento del protocolo. Por ejemplo, a partir de los 15 minutos en una simulación de partido (Russell et al., 2011) o a partir del segundo circuito de los cinco que componen el estudio en Ferraz et al (2012).

Entre estos estudios, también encontramos varios con la percepción subjetiva del esfuerzo como cuantificadora de la fatiga.

Así, al igual que para la frecuencia cardíaca y el lactato, Radman et al (2016) encuentran diferencias significativas entre las zonas 5 del test incremental que se propone en su protocolo. Mismo caso que en Russell et al (2011), cuya significatividad a nivel de percepción subjetiva del esfuerzo sigue la misma tendencia que en el lactato sanguíneo, es decir, se muestra con una diferencia estadísticamente significativa a partir del minuto 15 con respecto a la situación previa.

En Ferraz et al (2012) se distingue entre la RPE antes y después de los cinco circuitos. Así, se encuentran diferencias significativas antes de cada circuito hasta el cuarto circuito. En los datos posteriores a cada circuito se encuentran diferencias significativas entre los circuitos 1 y 2, 2 y 4, 3 y 5.

Por último, dentro de los estudios que utilizan RPE, destacar que Zemkova & Hamar (2009) tan solo dan el valor de RPE al finalizar el partido, calificándolo dos sujetos como algo duro (13), cinco como duro (15) y tres como muy duro (17).

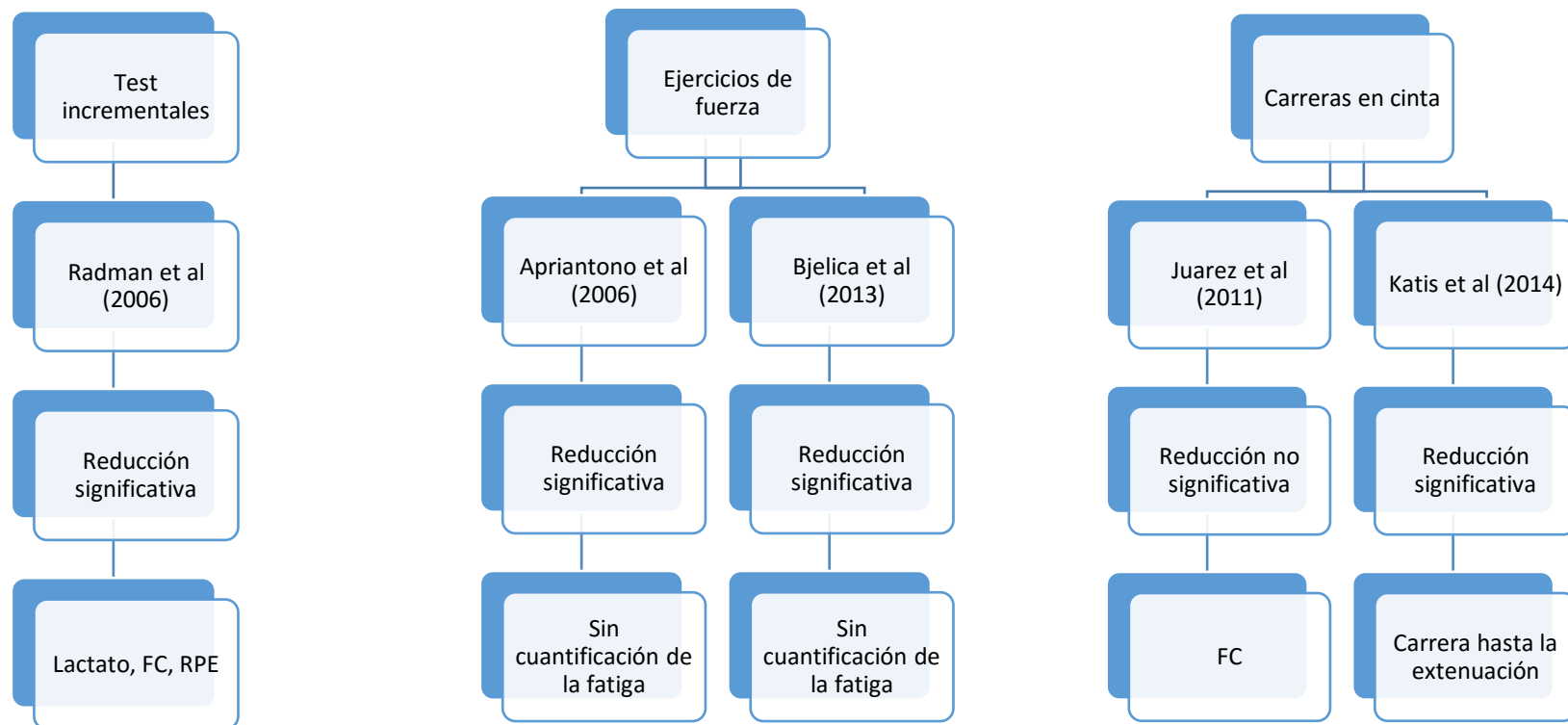
Algunos de los estudios que utilizan circuitos, han incluido una parte en la que se realiza un esprint, estableciendo las diferencias significativas que se producen entre los esprints a lo largo del tiempo que dura el protocolo.

Este es el caso de Kellis et al (2006), en el que se encuentran diferencias significativas entre los esprints que se realizan en la primera sección (de las cuatro que tiene el protocolo) y la tercera y la cuarta. También de Russell et al (2011), en donde se detecta una reducción significativa del tiempo en esprint en los últimos 15 minutos dentro de los 90 que dura la simulación. Por otro lado, en Stone (2009), no se detectan diferencias en el tiempo de esprint en los 45 minutos de ejercicio.

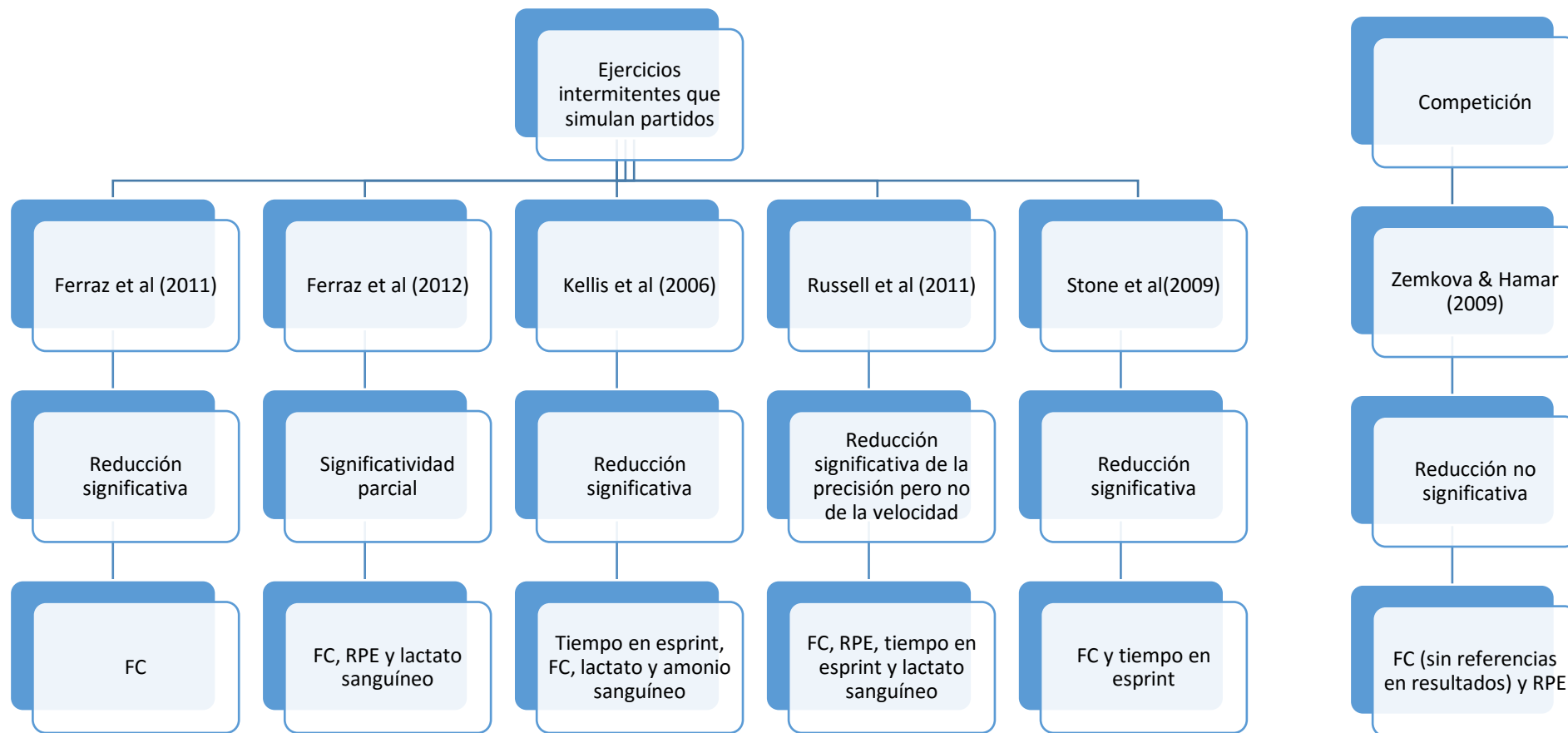
Sin embargo, encontramos unos pocos casos en los que se utilizan protocolos hasta la extenuación y, por lo tanto, se asume que el sujeto ya está fatigado antes de golpear. Son los casos del test incremental de Katis et al (2014) y de las flexiones y extensiones de rodilla de Aprianono et al (2006).

Por último, referenciar que encontramos un estudio (Bjelica et al., 2013) en el que no se utiliza ninguna variable para cuantificar la fatiga.

#### 4. La inducción de fatiga en el golpeo



#### 4. La inducción de fatiga en el golpeo



**Figura 4.3.** Resumen de los métodos utilizados para inducir fatiga en el golpeo en fútbol y de las variables para cuantificarla.

### 4.3. Referencias

- Apriantono, T., Nunome, H., Ikegami, Y., & Sano, S. (2006). The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football. *J Sports Sci*, 24(9), 951-960. doi: 10.1080/02640410500386050
- Bjelica, D., Popovic, S., & Petković, J. (2013). Comparison of Instep Kicking Between Preferred and Non-Preferred Leg in Young Football Players. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*, 2(1), 5-10.
- Ferraz, R., van den Tillaar, R., Ferraz, S., Santos, A., Mendes, R., Marinho, D. A., . . . Marques, M. C. (2011). A pilot study on the influence of fatigue on kicking velocity in the soccer players. *Journal of Physical Education and Sport*, 11(2), 68-71.
- Ferraz, R., van den Tillaar, R., & Marques, M. C. (2012). The effect of fatigue on kicking velocity in soccer players. *J Hum Kinet*, 35, 97-107. doi: 10.2478/v10078-012-0083-8
- Gleeson, N. P., Reilly, T., Mercer, T. H., Rakowski, S., & Rees, D. (1998). Influence of acute endurance activity on leg neuromuscular and musculoskeletal performance. *Med Sci Sports Exerc*, 30(4), 596-608.
- Juárez, D., de Subijana, C. L., Mallo, J., & Navarro, E. (2011). Acute effects of endurance exercise on jumping and kicking performance in top-class young soccer players. *European Journal of Sport Science*, 11(3), 191-196. doi: 10.1080/17461391.2010.500335
- Katis, A., Amiridis, I., Kellis, E., & Lees, A. (2014). Recovery of powerful kick biomechanics after intense running fatigue in male and female soccer players. *Asian J Sports Med*, 5(4), e24013. doi: 10.5812/asjms.24013
- Kellis, E., Katis, A., & Vrabas, I. S. (2006). Effects of an intermittent exercise fatigue protocol on biomechanics of soccer kick performance. *Scand J Med Sci Sports*, 16(5), 334-344. doi: 10.1111/j.1600-0838.2005.00496.x
- Leger, L. A., & Lambert, J. (1982). A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO<sub>2</sub> max. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 49(1), 1-12.

- McGregor, S. J., Nicholas, C. W., Lakomy, H. K., & Williams, C. (1999). The influence of intermittent high-intensity shuttle running and fluid ingestion on the performance of a soccer skill. *J Sports Sci*, 17(11), 895-903. doi: 10.1080/026404199365452
- Nicholas, C. W., Nuttall, F. E., & Williams, C. (2000). The Loughborough Intermittent Shuttle Test: a field test that simulates the activity pattern of soccer. *J Sports Sci*, 18(2), 97-104. doi: 10.1080/026404100365162
- Radman, I., Wessner, B., Bachl, N., Ruzic, L., Hackl, M., Prpic, T., & Markovic, G. (2016). The acute effects of graded physiological strain on soccer kicking performance: a randomized, controlled cross-over study. *Eur J Appl Physiol*, 116(2), 373-382. doi: 10.1007/s00421-015-3293-7
- Russell, M., Benton, D., & Kingsley, M. (2011). The effects of fatigue on soccer skills performed during a soccer match simulation. *Int J Sports Physiol Perform*, 6(2), 221-233.
- Stone, K. J., & Oliver, J. L. (2009). The effect of 45 minutes of soccer-specific exercise on the performance of soccer skills. *Int J Sports Physiol Perform*, 4(2), 163-175.
- Zemková, E., & Hamar, D. (2009). The effect of soccer match induced fatigue on neuromuscular performance. *Kinesiology*, 41(2), 195-202.



## 5. Métodos utilizados para medir los factores determinantes del golpeo

### 5.1. Medición de la velocidad

La medición de la velocidad de golpeo ha sido ampliamente utilizada en la literatura científica (Rodríguez-Lorenzo, Fernandez-Del-Olmo, & Martín-Acero, 2015).

En general, el sujeto realiza a máxima intensidad tres o más golpes, tomando como medida el más veloz de todos ellos. Bien es cierto que existen algunas excepciones dentro de los estudios que han medido el efecto de la fatiga en la velocidad de golpeo, en los que se toman solo dos disparos (Ferraz et al., 2011), o aquellos estudios en los que al realizar una simulación de partido se realiza tan solo un disparo cada vez que el sujeto pasa por la estación de golpeo de balón (Russell, Benton, & Kingsley, 2011).

Ahora bien, la principal diferenciación entre los estudios que miden el efecto de la fatiga en la velocidad de golpeo es el uso de un software o sistema de 3D (Apriantono, Nunome, Ikegami, & Sano, 2006; Juárez, de Subijana, Mallo, & Navarro, 2011; Katis, Amiridis, Kellis, & Lees, 2014; Kellis, Katis, & Vrabas, 2006; Russell et al., 2011; Zemková & Hamar, 2009) o de la medición de la velocidad del balón mediante un radar (Ferraz et al., 2011; Ferraz, van den Tillaar, & Marques, 2012; Radman, Wessner, Bachl, Ruzic, Hackl, Prpic, et al., 2016). Ambos métodos han sido aceptados en la literatura científica.

Sin embargo, hemos de destacar que ciertos estudios dentro de los que han usado un software o sistema tres dimensiones no han medido directamente la velocidad del balón (Katis et al., 2014; Kellis et al., 2006), sino que han medido la velocidad del pie asumiendo esta como la velocidad del balón. En la literatura científica, se han reportado correlaciones elevadas ( $r = 0,74$ ) entre la velocidad del pie y la velocidad del balón en el golpeo (Kellis & Katis, 2007). Además, revisiones sobre el golpeo (Young & Rath, 2011) asumen como ampliamente demostrado que el incremento o decremento de la velocidad del pie conlleva, respectivamente, una modificación de la velocidad del balón.

Por último, destacar que en los diferentes estudios que miden la velocidad del balón, encontramos diferencias metodológicas, por ejemplo en la aproximación al balón, el

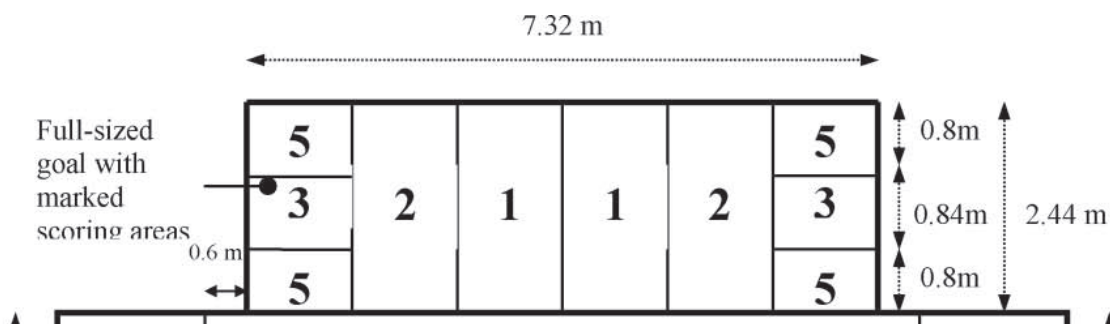
ángulo de carrera, la superficie de golpeo... haciéndose necesario por tanto un consenso entre expertos para estandarizar los protocolos a la hora de medir la máxima velocidad de golpeo (Rodríguez-Lorenzo et al., 2015).

## 5.2. Medición de la precisión

Son muchos menos los estudios relacionados con la medición de la precisión en el golpeo que con la velocidad de golpeo. A pesar de los numerosos intentos para obtener un método que aportara una medida fiable en la precisión de golpeo, ninguno de ellos ha sido utilizado de manera estandarizada en la literatura científica (Rodríguez-Lorenzo et al., 2015).

El Loughborough Soccer Shooting Test (LSST) ha sido uno de los más repetidos a la hora de medir la precisión en el golpeo (Ali, Williams, Nicholas, & Foskett, 2007; Owen, Kehoe, & Oliver, 2013; Smith et al., 2016). Sin embargo, dentro de los estudios que han intentado determinar el efecto de la fatiga sobre la precisión en el golpeo, el LSST solo ha sido utilizado por un estudio (Stone & Oliver, 2009).

La versión inicial del LSST es propuesta en 2007 (Ali, Williams, Hulse, et al., 2007). En ella, la portería se divide en varios sectores, dándole una mayor puntuación a las zonas en las que, si el portero se encontrara en el centro de la portería, tendría más dificultades de alcanzar. Obtenemos así 5 puntos si se consigue el gol en la intersección entre los palos y el larguero o en la intersección entre el suelo y el palo, 3 puntos si se consigue en una altura media pegado al palo, 2 puntos si se consigue a 2,52 metros del centro de la portería y un punto si el balón entra por el centro de la portería.

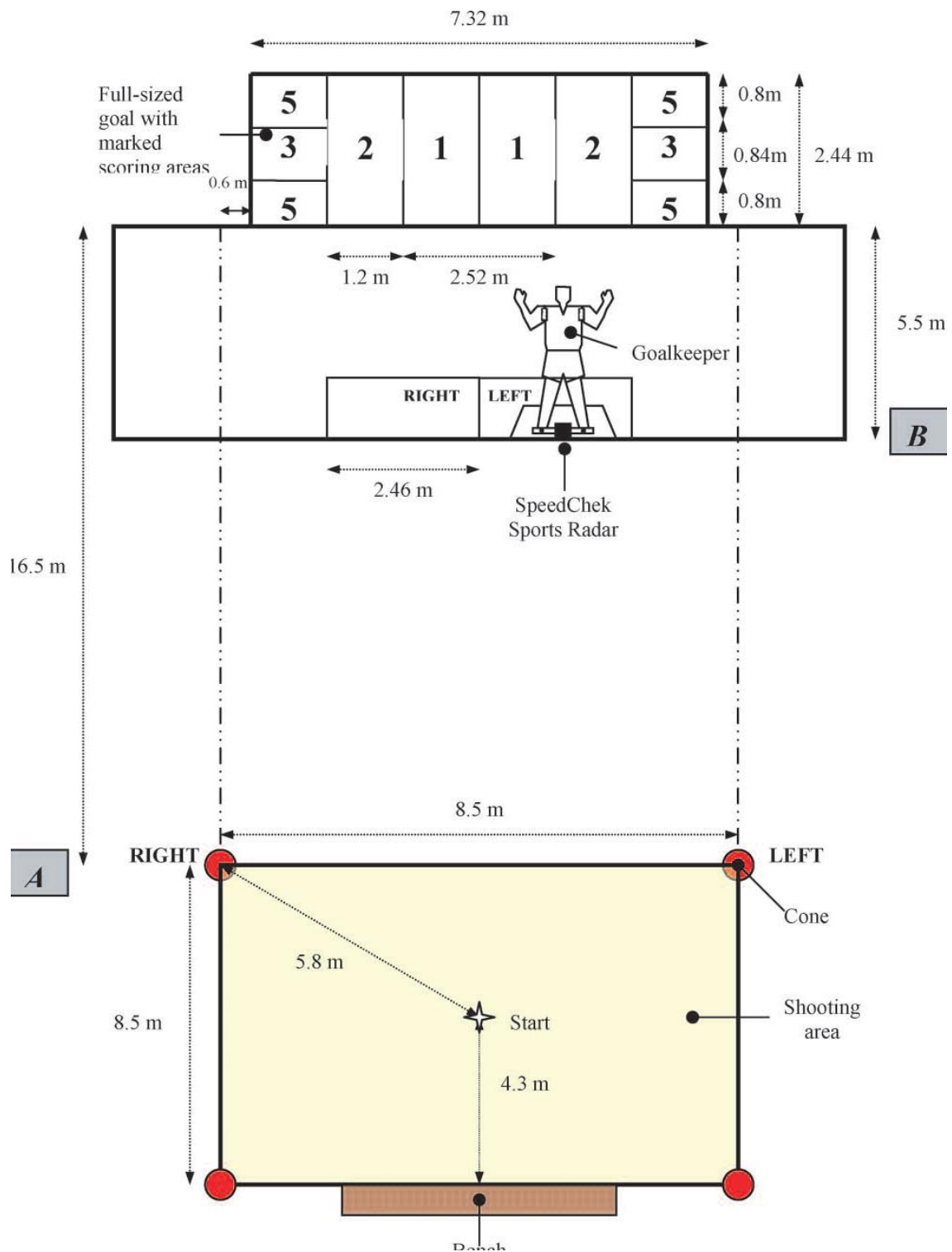


**Figura 5.1.** Área de puntuación del LSST (Ali, Williams, Hulse, et al., 2007).

La zona de golpeo se encuentra a 16,5 metros, delimitada por cuatro conos que forman una zona de 8,5 metros de lado. En la versión original de este test, se coloca una simulación de portero en el centro de la portería, con el objetivo de mejorar la validez ecológica del test. Bien es cierto que en estudios posteriores se elimina esta figura (Stone & Oliver, 2009).

El procedimiento en el LSST es el siguiente: El jugador comienza en el centro de la zona de golpeo, corre hasta uno de los cuatro conos, vuelve al centro, golpea el balón contra la colchoneta, controla el balón y golpea. Cada participante realiza 10 disparos, uno cada 30 segundos. Si un disparo se realiza fuera de la zona de golpeo, se tarda más de ocho segundos y medio en realizarlo o a una velocidad menor a 64 km/h, se considera nulo.

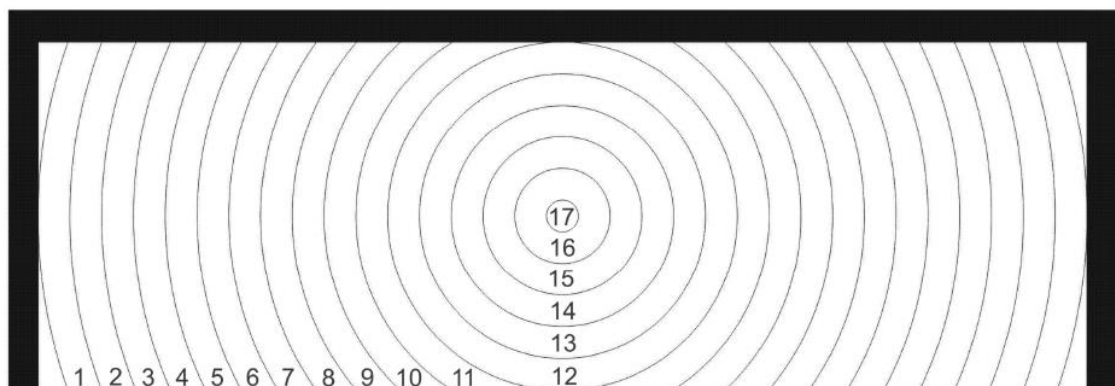
La puntuación final del jugador será la suma de los 10 disparos.



**Figura 5.2.** Representación esquemática del LSST (Ali, Williams, Hulse, et al., 2007).

En una simulación de partido (Russell et al., 2011), se ha utilizado un método propio, validado por los mismos autores en un estudio previo (Russell, Benton, & Kingsley, 2010), a pesar de que no ha sido utilizado por más investigaciones excepto por estos mismos autores en otra ocasión (Russell, Benton, & Kingsley, 2012). Dentro de una portería de fútbol, se colocan cuatro objetivos luminosos en las esquinas de la misma, los cuales tienen unas dimensiones de un metro hacia el interior de la portería y medio metro en vertical. Los participantes golpean cuatro veces, sin control previo, un balón estático con la pierna que se sientan más cómodos, desde una distancia de 15 metros. Se considera éxito si el balón entra por una de las cuatro zonas marcadas en la portería. La puntuación se expresa como el porcentaje de éxito y la desviación del objetivo.

En el estudio de la precisión, otros autores han utilizado un test previamente validado por ellos mismos para el estudio de la precisión en el golpeo (Bjelica, Popovic, & Petković, 2013). A pesar de los diversos errores a nivel metodológico que existen en esta propuesta de test, es el único test utilizado en forma de diana circular, lo que quizás sea más acertado para medir la desviación de la precisión sobre un objetivo que los test que otorgan mayor puntuación a la hora de alejarnos del centro de la portería. Los autores dividen la portería en 17 zonas circulares, con un círculo central de 22,1 cm y, las siguientes zonas concéntricas, con la anchura de un balón. Se realizan 10 disparos y, aunque no se especifica, de los resultados se puede deducir que se obtiene el valor medio de todos los disparos. Tampoco se especifica la distancia a la que el jugador golpea, ni si se realiza de forma estática, en movimiento, con control previo...



**Figura 5.3.** Diana de golpeo en Bjelica et al, 2013.

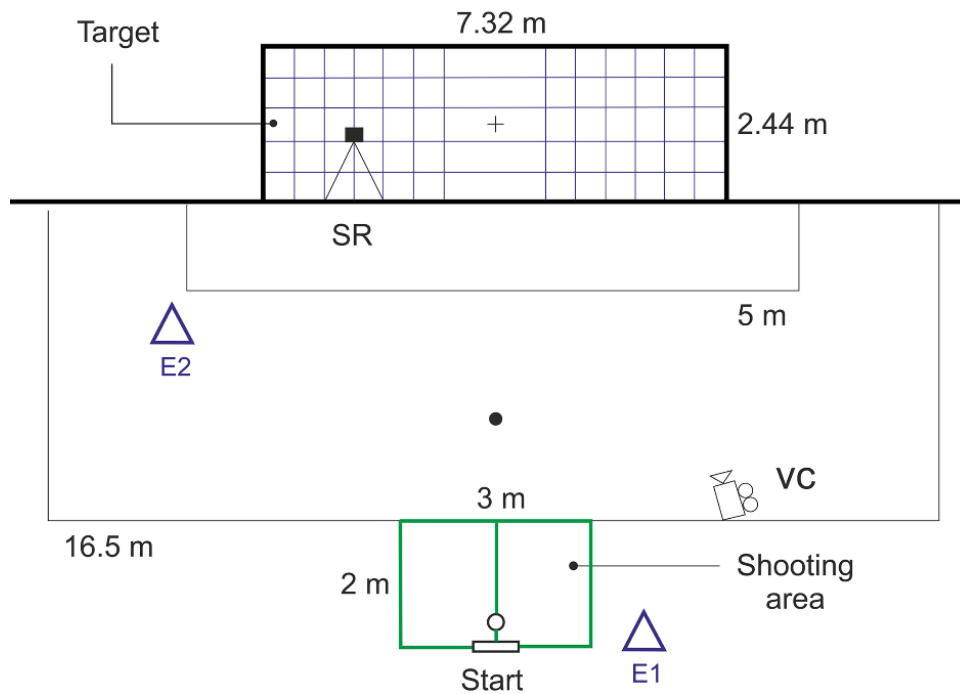
El último método que se ha utilizado para medir la precisión en el golpeo dentro de los estudios relacionados con el efecto de la fatiga fue usado en 2016 (Radman, Wessner, Bachl, Ruzic, Hackl, Prpic, et al., 2016), previamente utilizado en un estudio piloto propio expuesto en un congreso, por lo que los autores asumen que es un método fiable para medir la precisión en el golpeo. Sin embargo, ha sido validado en estudios posteriores (Radman, Wessner, Bachl, Ruzic, Hackl, Baca, et al., 2016).

El test consiste en diez golpes con la pierna dominante desde una zona rectangular (3,2 m) situada a 16,5 metros de la portería. El disparo se realiza con dos pasos previos y dos toques, uno para ajustar el balón y otro para golpear, hacia la zona de la portería opuesta a la pierna dominante del jugador. El tiempo entre cada disparo fue de seis segundos, en los cuales se incluyen 3 segundos de preparación.

La portería se cubre con 30 zonas de puntuación, cada una de 48x48 cm. La puntuación incrementa tal y como las zonas se alejan del centro de la portería, por lo que se da la instrucción a los jugadores de golpear lo más lejos posible del centro de la portería, dentro de la mitad opuesta a su zona de golpeo, manteniendo una velocidad realista de partido. El resultado es la media de los 7 mejores disparos, por lo que los 3 peores disparos son descartados.

3.56	3.10	2.65	2.21	1.79	1.41
3.45	2.98	2.51	2.04	1.58	1.13
3.42	2.94	2.46	1.98	1.50	1.02
3.45	2.98	2.51	2.04	1.58	1.13
3.56	3.10	2.65	2.21	1.79	1.41

**Figura 5.4.** Zonas de puntuación en Radman et al, 2016.

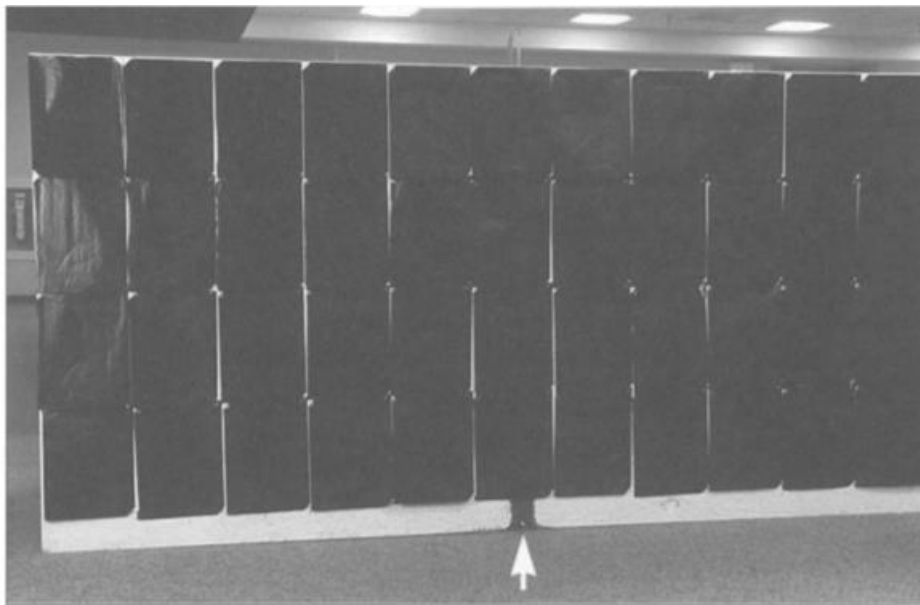


**Figura 5.5.** Esquema del protocolo de golpeo en Radman et al, 2016.

Aunque no han medido la influencia de la fatiga en la precisión golpeo, otros estudios han propuesto diferentes métodos para medir dicha precisión.

Así, encontramos por ejemplo estudios en los que se propone golpear a una diana de 2x2 metros a una distancia de 7 metros de la misma, aunque el objetivo final del mismo sea medir la velocidad del balón cuando se le da al futbolista la instrucción de buscar precisión en el golpeo (Berjan Bacvarevic et al., 2012).

A pesar de que tampoco ha sido utilizado por ningún estudio que mida la fatiga en el golpeo y no ha sido especialmente reproducido en la literatura científica, en el año 2002 se validó un método en forma de diana para evaluar la precisión en el golpeo (Finnoff, Newcomer, & Laskowski, 2002). Se construyó un tablón de madera, de 243,5 cm de ancho por 122 cm de alto. En el punto medio (por abajo) se señala el centro del objetivo, tal y como se muestra en la figura 16.



**Figura 5.6.** Vista frontal de la diana propuesta por Finnoff et al, 2002.

El objetivo de madera es cubierto con papel-carbón, el cual es sustituido cada vez que un disparo impacta en el mismo. Se realizan 10 disparos desde 6,1 metros, midiendo la distancia desde el centro hasta el límite más lejano que queda grabado en el papel-carbón. Como resultado, se toma tanto la media como la mediana. No se tiene en cuenta la velocidad mínima a la que se golpea.

### 5.3. Referencias bibliográficas

- Ali, A., Williams, C., Hulse, M., Strudwick, A., Reddin, J., Howarth, L., . . . McGregor, S. (2007). Reliability and validity of two tests of soccer skill. *J Sports Sci*, 25(13), 1461-1470. doi: 10.1080/02640410601150470
- Ali, A., Williams, C., Nicholas, C. W., & Foskett, A. (2007). The influence of carbohydrate-electrolyte ingestion on soccer skill performance. *Med Sci Sports Exerc*, 39(11), 1969-1976. doi: 10.1249/mss.0b013e31814fb3e3
- Apriantono, T., Nunome, H., Ikegami, Y., & Sano, S. (2006). The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football. *J Sports Sci*, 24(9), 951-960. doi: 10.1080/02640410500386050



- Berjan Bacvarevic, B., Pazin, N., Bozic, P. R., Mirkov, D., Kukolj, M., & Jaric, S. (2012). Evaluation of a composite test of kicking performance. *J Strength Cond Res*, 26(7), 1945-1952. doi: 10.1519/JSC.0b013e318237e79d
- Bjelica, D., Popovic, S., & Petković, J. (2013). Comparison of Instep Kicking Between Preferred and Non-Preferred Leg in Young Football Players. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*, 2(1), 5-10.
- Ferraz, R., van den Tillaar, R., Ferraz, S., Santos, A., Mendes, R., Marinho, D. A., . . . Marques, M. C. (2011). A pilot study on the influence of fatigue on kicking velocity in the soccer players. *Journal of Physical Education and Sport*, 11(2), 68-71.
- Ferraz, R., van den Tillaar, R., & Marques, M. C. (2012). The effect of fatigue on kicking velocity in soccer players. *J Hum Kinet*, 35, 97-107. doi: 10.2478/v10078-012-0083-8
- Finnoff, J. T., Newcomer, K., & Laskowski, E. R. (2002). A valid and reliable method for measuring the kicking accuracy of soccer players. *J Sci Med Sport*, 5(4), 348-353.
- Juárez, D., de Subijana, C. L., Mallo, J., & Navarro, E. (2011). Acute effects of endurance exercise on jumping and kicking performance in top-class young soccer players. *European Journal of Sport Science*, 11(3), 191-196. doi: 10.1080/17461391.2010.500335
- Katis, A., Amiridis, I., Kellis, E., & Lees, A. (2014). Recovery of powerful kick biomechanics after intense running fatigue in male and female soccer players. *Asian J Sports Med*, 5(4), e24013. doi: 10.5812/asjasm.24013
- Kellis, E., & Katis, A. (2007). Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *J Sports Sci Med*, 6(2), 154-165.
- Kellis, E., Katis, A., & Vrabas, I. S. (2006). Effects of an intermittent exercise fatigue protocol on biomechanics of soccer kick performance. *Scand J Med Sci Sports*, 16(5), 334-344. doi: 10.1111/j.1600-0838.2005.00496.x

- Owen, J. A., Kehoe, S. J., & Oliver, S. J. (2013). Influence of fluid intake on soccer performance in a temperate environment. *J Sports Sci*, 31(1), 1-10. doi: 10.1080/02640414.2012.720701
- Radman, I., Wessner, B., Bachl, N., Ruzic, L., Hackl, M., Baca, A., & Markovic, G. (2016). Reliability and Discriminative Ability of a New Method for Soccer Kicking Evaluation. *PLoS One*, 11(1), e0147998. doi: 10.1371/journal.pone.0147998
- Radman, I., Wessner, B., Bachl, N., Ruzic, L., Hackl, M., Prpic, T., & Markovic, G. (2016). The acute effects of graded physiological strain on soccer kicking performance: a randomized, controlled cross-over study. *Eur J Appl Physiol*, 116(2), 373-382. doi: 10.1007/s00421-015-3293-7
- Rodríguez-Lorenzo, L., Fernandez-Del-Olmo, M., & Martín-Acero, R. (2015). A critical review of the technique parameters and sample features of maximal kicking velocity in soccer. *Strength and Conditioning Journal*, 37(5), 26-39. doi: 10.1519/SSC.00000000000000172
- Russell, M., Benton, D., & Kingsley, M. (2010). Reliability and construct validity of soccer skills tests that measure passing, shooting, and dribbling. *J Sports Sci*, 28(13), 1399-1408. doi: 10.1080/02640414.2010.511247
- Russell, M., Benton, D., & Kingsley, M. (2011). The effects of fatigue on soccer skills performed during a soccer match simulation. *Int J Sports Physiol Perform*, 6(2), 221-233.
- Russell, M., Benton, D., & Kingsley, M. (2012). Influence of carbohydrate supplementation on skill performance during a soccer match simulation. *J Sci Med Sport*, 15(4), 348-354. doi: 10.1016/j.jsams.2011.12.006
- Smith, M. R., Coutts, A. J., Merlini, M., Deprez, D., Lenoir, M., & Marcora, S. M. (2016). Mental Fatigue Impairs Soccer-Specific Physical and Technical Performance. *Med Sci Sports Exerc*, 48(2), 267-276. doi: 10.1249/mss.0000000000000762
- Stone, K. J., & Oliver, J. L. (2009). The effect of 45 minutes of soccer-specific exercise on the performance of soccer skills. *Int J Sports Physiol Perform*, 4(2), 163-175.

Young, W. B., & Rath, D. A. (2011). Enhancing foot velocity in football kicking: the role of strength training. *J Strength Cond Res*, 25(2), 561-566. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181bf42eb

Zemková, E., & Hamar, D. (2009). The effect of soccer match induced fatigue on neuromuscular performance. *Kinesiology*, 41(2), 195-202.

# PARTE EMPÍRICA

## 6. Publicaciones aportadas

### 6.1. Estudio 1. Características antropométricas y de rendimiento físico en futbolistas sub-11 según el nivel competitivo/*Anthropometric and fitness performance characteristics in under-11 football players by competitive level*

#### 6.1.1. Introducción

La identificación del talento en jugadores jóvenes de fútbol ha sido abordada desde diferentes perspectivas (Reilly, Williams, Nevill, & Franks, 2000), con una visión más holística durante los últimos años (Unnithan, White, Georgiou, Iga, & Drust, 2012a). De esta forma, podemos ver cómo, en jugadores jóvenes de fútbol, se han analizado las características técnicas, tácticas, fisiológicas, sociológicas, perceptuales, cognitivas y de personalidad (Unnithan, White, Georgiou, Iga, & Drust, 2012b) que determinan en un futuro la pertenencia o no al denominado fútbol de élite.

Las diferencias físicas y antropométricas en un determinado momento de la formación del jugador podrían determinar el nivel competitivo que alcance en un futuro (Figueiredo, Goncalves, Coelho, & Malina, 2009; le Gall, Carling, Williams, & Reilly, 2010). Por tanto, determinar los factores que diferencian entre jugadores de fútbol de diferente nivel competitivo en una determinada edad, ha sido el objeto de estudio de varias investigaciones en categorías inferiores (Coelho et al., 2010; Gissis et al., 2006; Reilly et al., 2000; Vaeyens et al., 2006).

Así, se ha determinado (Coelho et al., 2010) como en jugadores sub 14, los futbolistas pertenecientes al grupo "élite" son más altos y pesados, alcanzan un mayor rendimiento en test de esprint repetidos (RSA), una menor velocidad en esprint de 30 metros y alcanzan una mayor altura en salto.

Otros autores (Vaeyens et al., 2006), coinciden al encontrar diferencias significativas en el rendimiento en salto vertical entre los grupos "élite" y "sub élite" frente al "no élite" en la categoría sub 13 y sub 14, añadiendo diferencias significativas en las pruebas de la batería EUROFIT relacionadas con la velocidad, la fuerza, la potencia, la resistencia y la flexibilidad. Sin embargo, las variables antropométricas de altura y peso no presentan diferencias significativas.

Vaeyens (Vaeyens et al., 2006) añade futbolistas U15 y U16 en su estudio. En ambas edades encontramos diferencias significativas en el rendimiento en salto vertical en los grupos "elite" y "sub elite" frente a los "no elite", así como diferencias significativas en el rendimiento en resistencia y velocidad entre todos los grupos. Dentro de este grupo de edad, otros estudios (Reilly et al., 2000), confirman las diferencias del rendimiento en velocidad, salto vertical y resistencia entre futbolistas de diferentes nivel competitivo, incluyendo una ligera diferencia en la altura de los sujetos. En un grupo con una media de edad de 16 años en el que se analizaron características de fuerza y velocidad (Gissis et al., 2006), también se hicieron patentes las diferencias en salto vertical y velocidad entre futbolistas del grupo "élite" y "sub elite".

Siguiendo los estudios que analizan las características antropométricas y de rendimiento físico en diferentes edades en jugadores jóvenes de fútbol en función de su nivel competitivo, así como la ausencia de los mismos en la categoría sub-11, el propósito de este estudio es determinar las diferencias antropométricas y en el rendimiento físico en jugadores de fútbol sub-11 en función del nivel competitivo.

#### 6.1.2. Material y método

##### *Participantes*

Un total de 86 jugadores sub 11 con las siguientes características participaron en la investigación: rango de edad (años) = 10-12, peso (Media  $\pm$  DT, kg) = 37,55 $\pm$ 6,55, altura (Media  $\pm$  DT, cm) = 143,02 $\pm$ 6,84.

Los participantes pertenecían a cuatro clubes diferentes, dos profesionales, cuyo primer equipo participa durante la temporada 2015/2016 en la primera división española de fútbol, así como dos clubes no profesionales. Todos los jugadores tenían licencia federativa en vigor durante la temporada 2015/2016, compitiendo en las diferentes categorías de la Federación Española de Fútbol. Siguiendo el criterio de investigaciones anteriores, se clasificó como grupo "élite" a aquellos jugadores que pertenecían a un club profesional y como "no elite" a aquellos que no pertenecían a un club profesional (Reilly et al., 2000; Vaeyens et al., 2006). Durante el estudio no se diagnosticaron lesiones ni ningún futbolista se encontraba en proceso de recuperación.

Todos los participantes y padres o tutores fueron informados previamente del propósito del estudio. Cada uno de los participantes y padres o tutores dio su consentimiento

firmado siguiendo las recomendaciones de la declaración de Helsinki. Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Pablo de Olavide.

### *Instrumentos*

Las medidas antropométricas se realizaron de acuerdo a los procedimientos estandarizados (Tanner & Gore, 2000). El peso corporal se midió con una báscula Seca<sup>®</sup>869 (Seca GmbH & Co, Hamburgo, Alemania) con una precisión menor al  $\pm 0,15\%$  y la talla con un estadiómetro (Soehnle<sup>®</sup> 5003, China) con una precisión menor a 1 centímetro. A partir de ellos, se calculó el Índice de Masa Corporal.

Las medidas de salto fueron obtenidas usando una plataforma dinamométrica Kistler<sup>®</sup> Quattro Jump tipo 9290 AD (Kistler<sup>®</sup>, Suiza) con una frecuencia de 500 datos por segundo, usando el software Quattro Jump 1.1.0.3. La altura del salto se obtuvo a partir de un test CMJ, comúnmente usado (Ostojic, Stojanovic, & Ahmetovic, 2010) mediante el método de la doble integración utilizado por esta plataforma dinamométrica. El índice de fatiga para la altura de salto ha sido utilizado en estudios previos (Centeno-Prada, Lopez, & Naranjo-Orellana, 2015), determinando dichos autores dos fórmulas diferentes para calcularlo, en función de si la intensidad es mayor o menor al 95%. Se considera que la intensidad es máxima si la relación entre los 3 primeros saltos y la del mayor salto CMJ es mayor al 95% durante un test de 15 segundos de saltos continuos, utilizando en este caso la fórmula:

*Índice de fatiga = altura media de los saltos realizados durante el test / altura máxima alcanzada en salto CMJ \*100%*

En el caso de que la intensidad del sujeto durante el test de 15 segundos sea menor al 95%, se utiliza la fórmula:

*Índice de fatiga = media (altura de los 3 últimos saltos) / media (altura de los 3 primeros saltos) \*100%*

La máxima velocidad de golpeo es una medida común en estudios que han analizado la velocidad de golpeo, obteniendo dicha medida con una pistola radar (Ferraz, van den Tillaar, & Marques, 2012; Tomas, Frantisek, Lucia, & Jaroslav, 2014). En esta investigación se usó un radar Stalker ATS II (Stalker<sup>®</sup>, USA), con un tiempo de precisión

de 0,01 segundos, un rango de velocidad de 1-1432,3 km/h y la capacidad para detectar el movimiento del balón a una distancia de 152,40 metros.

Los test de velocidad es una de las medidas más extendidas en jugadores de fútbol (Meylan, Cronin, Oliver, & Hughes, 2010). Se seleccionó la distancia de 15 y 30 metros, la cual fue usada en estudios previos con jugadores jóvenes de fútbol (Unnithan et al., 2012a). Para medir la velocidad lineal del jugador se usaron dos células fotoeléctricas Microgate Witty Gate (Microgate®, Italia), con un receptor Microgate Witty Timer.

La estimación de los valores  $VO_{2\text{máx}}$  del sujeto se realizaron usando un test progresivo de 20 metros (Ramsbottom, Brewer, & Williams, 1988), y utilizando las tablas de edad propuestas por Leger (Leger, Mercier, Gadoury, & Lambert, 1988)

### *Procedimientos*

La investigación se llevó a cabo durante dos sesiones. El orden dentro de cada sesión fue el siguiente:

#### Sesión 1:

- Medidas antropométricas.
- Calentamiento específico (15 minutos).
- Test CMJ.
- Test progresivo de 20 metros.

#### Sesión 2:

- Calentamiento específico (15 minutos).
- Test de golpeo de balón.
- Test de velocidad (15 y 30 metros).

En la primera sesión, los ejercicios de calentamiento consistieron en movilidad articular del tren superior e inferior, desplazamientos en diferentes direcciones, ejercicios propioceptivos, estiramientos de los principales grupos musculares y ejercicios de esprint a diferentes intensidades. Durante la segunda sesión, los ejercicios de esprint se sustituyeron por ejercicios de familiarización con el balón.



Para las medidas de CMJ se siguió el protocolo de salto propuesto por Bosco (Bosco, 1994). Previamente al test, los sujetos realizaron suficientes saltos para asegurar que conocían la técnica correcta y la usaban correctamente. Además, cada jugador realizó 6 saltos continuos sobre la plataforma dinamométrica para establecer la línea base (de acuerdo con el protocolo de saltos continuos de Kitsler® *Quattro jump*). Cada jugador realizó tres saltos, considerados como correctos por los investigadores, con un tiempo de recuperación de 2 minutos entre ellos. Se seleccionó el mejor de los tres saltos. Tras 5 minutos de descanso, se realizó el test de fatiga de 15 segundos con saltos continuos y máximos sobre la plataforma dinamométrica, para obtener el índice de fatiga.

En el test de golpeo de balón, el golpeo fue ejecutado desde el punto de penalti y los participantes usaron una carrera de aproximación al balón de 4 a 5 metros, golpeando el mismo con la pierna dominante (Juárez, de Subijana, Mallo, & Navarro, 2011). Cada jugador ejecutó 3 intentos, con un intervalo de descanso entre cada intento de 30 segundos (Markovic, Dizdar, & Jaric, 2006), seleccionando el disparo más veloz.

Los test de velocidad se realizaron sobre 15 y 30 metros. Los jugadores se colocaron detrás de la célula fotoeléctrica de inicio y eligieron el momento de empezar la carrera en línea recta. Cada jugador realizó 3 intentos para cada una de las distancias, con un tiempo de recuperación de 2 minutos entre cada intento (Russell & Tooley, 2011). Se seleccionó la carrera más rápida.

Se ejecutó un test de carrera progresivo de 20 metros, el Course-Navette (Leger et al., 1988). El incremento en la carrera fue de .5 km/h por minuto. Los jugadores fueron informados previamente del protocolo y los evaluadores eliminaron a todos los jugadores que no fueron capaces de superar las líneas en cada una de las fases del test.

Variables de estudio:

- 1) Peso.
- 2) Altura.
- 3) Índice de Masa Corporal.
- 4) Velocidad máxima del balón.
- 5) Altura máxima de salto en CMJ.

- 6) Índice de fatiga de altura de saltos, en test de 15 segundos.
- 7) Velocidad en test de 15 metros.
- 8) Velocidad en test de 30 metros.
- 9) Estimación del  $\text{VO}_2$  máx.

#### *Análisis estadístico*

Para el análisis estadístico, se usó el software IBM SPSS Statistics 22.

En cuanto a estadísticos descriptivos, se calcularon la media, la desviación típica (DT) y el coeficiente de variación (CV).

El nivel de confianza de las medidas se estimó al 95% del intervalo de confianza para la media.

Con el objetivo de conocer la consistencia de las medidas entre los diferentes golpes, saltos y carreras se calculó el coeficiente de correlación intraclase (CCI).

Con respecto a la estadística inferencial, se llevó a cabo la prueba t-Student o prueba U de Mann-Whitney en función de la normalidad, calculada mediante el test de Kolmogorov-Smirnov y la homocedasticidad según prueba de Levene. El nivel de significación se determinó en  $p < 0.05$ .

Además, se calculó el tamaño del efecto (Cohen, 1988), considerando los valores  $d < .41$  como pequeños, entre .41 y .70 como moderados y de  $d > .70$  como grandes.

#### **6.1.3. Resultados**

La tabla 6.1.1 muestra los resultados obtenidos en las diferentes variables del estudio, el rango de los datos y el CCI.

Tabla 6.1.1. *Análisis descriptivo de las variables estudiadas.*

	Media $\pm$ DT*	Rango	IC (95%) <sup>£</sup>	CCI <sup>¥</sup>	CV <sup>§</sup>
<b>Peso</b> (kg)	37.55 $\pm$ 6.55	26.20 - 55.2	36.14 – 38.95		
<b>Altura</b> (cm)	143.02 $\pm$ 6.84	128 - 159	141.55 – 144.49		
<b>Índice de Masa Corporal</b> (kg·m <sup>-2</sup> )	18.29 $\pm$ 2.50	14.39 – 28.57	17.75 – 18.83		
<b>Velocidad máxima del balón</b> (m/s)	19.98 $\pm$ 2.21	13.67 – 25.56	19.51 – 20.46	.908	.054
<b>Altura de salto</b> (cm)	31.56 $\pm$ 4.28	21.7 - 42	30.65 – 32.48	.887	.058
<b>Índice de fatiga</b> (%)	88.93 $\pm$ 10.90	61.40 - 148.20	86.59 – 91.27		
<b>Velocidad 15-m</b> (s)	3.03 $\pm$ 0.20	2.65 - 3.66	2.99 – 3.08	.898	.022
<b>Velocidad 30-m</b> (s)	5.51 $\pm$ 0.45	4.79 – 7.01	5.42 – 5.61	.980	.013
<b>VO<sub>2</sub>máx</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	49.78 $\pm$ 5.08	39.12 – 62.99	48.69 – 50.87		

\* Media  $\pm$  Desviación típica.

£ 95% intervalo de confianza.

¥ Coeficiente de correlación intraclase.

§ Coeficiente de variación.

La fiabilidad de los test con medidas repetidas se calculó mediante el CCI, mostrando los resultados una alta repetibilidad para la máxima velocidad de golpeo (CCI = .908;  $n$  = 86), altura de salto (CCI = .887;  $n$  = 86), velocidad en 15 metros (CCI = .898;  $n$  = 86) y velocidad en 30 metros (CCI = .980;  $n$  = 86). La fiabilidad del test de carrera en 20 metros no se pudo calcular puesto que solo se ejecutó una vez. Sin embargo, estudios previos muestran coeficientes de variación menores al 5% en este test (Pivarnik, Dwyer, & Lauderdale, 1996)

La tabla 6.1.2 muestra la comparativa de medias entre el grupo “élite” y “no élite”.

Tabla 6.1.2.

*Comparación de los resultados entre grupos “élite” y “no élite”.*

	“Élite”		“No élite”		<i>p</i>	<i>d</i> <sup>¥</sup>
	Media ± DT*	IC (95%) <sup>£</sup>	Media ± DT*	IC (95%) <sup>£</sup>		
<b>Peso</b> (kg)	37.49 ± 6.19	35.56 – 39.42	37.60 ± 6.94	35.49 – 39.71	0.938 <sup>§</sup>	0.01
<b>Altura</b> (cm)	144.21 ± 6.24	142.26 – 146.16	141.88 ± 7.25	139.68 – 144.09	0.115 <sup>§</sup>	0.34
<b>Índice de Masa Corporal</b> (kg·m <sup>-2</sup> )	17.93 ± 1.90	17.33 – 18.52	18.64 ± 2.95	17.74 – 19.53	0.471 <sup>§§</sup>	0.28
<b>Velocidad máxima del balón</b> (m/s)	20.48 ± 2.06	19.83 – 21.12	19.51 ± 2.27	18.82 – 20.20	0.041 <sup>§</sup>	0.44
<b>Altura de salto</b> (cm)	32.68 ± 4.60	31.24 – 34.11	30.50 ± 3.69	29.38 – 31.62	0.017 <sup>§</sup>	0.52
<b>Índice de fatiga</b> (%)	89.46 ± 9.94	85.80 – 95.19	88.43 ± 11.85	84.78 – 94.14	0.663 <sup>§§</sup>	0.08
<b>Velocidad 15-m</b> (s)	2.93 ± 0.14	2.89 – 2.98	3.12 ± 0.21	3.06 – 3.19	0.000 <sup>§§</sup>	1.06
<b>Velocidad 30-m</b> (s)	5.29 ± 0.30	5.19 – 5.39	5.73 ± 0.46	5.59 – 5.87	0.000 <sup>§§</sup>	1.12
<b>VO<sub>2</sub>máx</b> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	51.36 ± 4.50	49.95 – 52.76	48.27 ± 5.19	46.69 – 49.85	0.004 <sup>§</sup>	0.63

\* Media ± Desviación típica.

£ 95% intervalo de confianza.

§ Prueba t según normalidad y homocedasticidad.

§§ Prueba U según normalidad y homocedasticidad.

¥ Tamaño del efecto.

En referencia a las medidas antropométricas no se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos en ninguna de las tres variables con tamaños del efecto pequeños tanto para el peso ( $p = .938$ ;  $d = .01$ ), la altura ( $p = .115$ ;  $d = .34$ ) así como para el índice de masa corporal ( $p = .471$ ;  $d = .28$ ).

Sin embargo, en lo referente a test de condición física podemos encontrar diferencias muy significativas ( $p < .01$ ) con tamaños del efecto considerando como grandes tanto

para la velocidad en 15 metros ( $p = .000$ ;  $d = 1.06$ ), como para la velocidad en 30 metros ( $p = .000$ ;  $d = 1.12$ ) y con un tamaño del efecto moderado para el  $VO_{2\text{máx}}$  ( $p = .004$ ;  $d = .63$ ). A su vez, encontramos diferencias estadísticamente significativas ( $p < .05$ ) con tamaños del efecto moderados tanto en la altura de salto ( $p = .017$ ;  $d = .52$ ) como en la velocidad máxima de balón ( $p = .041$ ;  $d = .44$ ). Por último, el índice de fatiga de salto no muestra diferencias estadísticamente significativas, con un tamaño del efecto pequeño ( $p = .663$ ;  $d = .08$ ).

### 3.3.4. Discusión

El objetivo de este estudio fue determinar las diferencias antropométricas y de rendimiento físico en jugadores sub-11 en función del nivel competitivo.

En la tabla 6.3.1 se realiza un análisis descriptivo de las variables estudiadas. El CCI obtenido indica la alta fiabilidad de los datos en medidas repetidas. Los datos de antropometría en términos de peso (Berjan Bacvarevic et al., 2012; Figueiredo, Coelho e Silva, & Malina, 2011; Gravina et al., 2008; Kapidzic, Huremovic, & Biberovic, 2014), altura (Figueiredo et al., 2011; Francioni, Figueiredo, Terribili, & Tessitore, 2015; Gravina et al., 2008; Kapidzic et al., 2014) e IMC (Berjan Bacvarevic et al., 2012; Francioni et al., 2015; Gravina et al., 2008) son similares a los reflejados en otros estudios en el mismo grupo de edad. En cuanto a parámetros de condición física, encontramos estudios con datos similares en altura en salto CMJ (Figueiredo et al., 2011; Gravina et al., 2008; Vantinen, Blomqvist, & Hakkinen, 2010), velocidad en 15 metros (Francioni et al., 2015) y  $VO_{2\text{máx}}$  (Russell & Tooley, 2011). La velocidad en 30 metros fue ligeramente inferior comparada con otro estudio (Gravina et al., 2008), probablemente por el hecho de que la muestra solo estaba compuesta por jugadores de un club profesional. La velocidad de golpeo no ha sido estudiada en este grupo de edad, pero los datos obtenidos son ligeramente inferiores a los obtenidos en edades entre 12 y 13 años (Berjan Bacvarevic et al., 2012; Kapidzic et al., 2014; Marques, Pereira, Reis, & van den Tillaar, 2013). El índice de fatiga de altura de salto no ha sido previamente estudiado en jugadores jóvenes de fútbol.

En cuanto a la comparativa de ambos grupos en variables antropométricas, podemos observar que no se encuentran diferencias significativas entre ellos para ninguna de las variables analizadas (Tabla 6.3.2). Estos datos son similares a los obtenidos en estudios con jugadores U13, U14, U15 y U16 (Vaeyens et al., 2006) y jugadores de entre 15 y 16

años (Reilly et al., 2000), excepto para la variable altura. Sin embargo, los datos de este estudio difieren de los reportados por otras investigaciones en futbolistas U14 (Coelho et al., 2010).

En la línea de otras investigaciones, podemos afirmar que las variables de carácter antropométrico discriminan menos entre futbolistas de diferente nivel competitivo que las relacionadas con test físicos o variables fisiológicas (Reilly et al., 2000; Vaeyens et al., 2006). Las excepciones que encontramos relacionadas con la altura y, en un caso (Coelho et al., 2010), con el peso, podrían venir derivadas de los diferentes niveles madurativos dentro de la misma edad, aspecto que ha sido bien documentado en estudios previos (Coelho et al., 2010). Además, en referencia a la altura, podemos observar que, aunque no se llegan a alcanzar niveles significativos ( $p = .115$ ), existe una diferencia de más de 3 centímetros en favor del grupo “élite”. Si observamos los resultados de otros estudios, podemos ver cómo estas diferencias se igualan en edades U13 (Vaeyens et al., 2006), y que son mayores en favor del grupo no élite en edades U14, U15 y U16 (Reilly et al., 2000; Vaeyens et al., 2006). Analizando los resultados de los diferentes estudios, parece evidente que la variable altura no se podría comparar entre grupos de diferente edad, puesto que, en función de la misma, los resultados tienden a ser favorables al grupo élite en edades tempranas y, sin embargo, pasan a ser favorables a los grupos “no élite” en edades superiores. Por tanto, al no tener referencia de estudios en jugadores U11, no podríamos comparar nuestros resultados con los obtenidos en otros estudios para dicha variable.

En relación a las variables de rendimiento en test de condición física (Tabla 6.3.2) podemos ver que existen valores inferiores a  $p < .01$  en las variables relacionadas con la velocidad, con tamaños del efecto grandes tanto en 15 ( $d = .06$ ) como en 30 metros ( $d = .12$ ), así como para el  $VO_{2\text{máx}}$  ( $d = .63$ ), siendo en este caso el tamaño del efecto moderado. A su vez, se reportan valores inferiores a  $p < .05$  y tamaños del efecto considerados como moderados tanto en la altura de la salto ( $d = .52$ ) como en la velocidad de golpeo de balón ( $d = .44$ ). En cuanto al índice de fatiga de altura de salto, no presenta diferencias significativas entre ambos grupos, con un tamaño del efecto considerado como pequeño ( $d = .08$ ).

Los resultados en velocidad en las dos distancias establecidas están en consonancia con los resultados obtenidos en otros estudios (Coelho et al., 2010; Gissis et al., 2006; Reilly

et al., 2000; Vaeyens et al., 2006). Parece por tanto, que la velocidad es una variable que nos permite discriminar entre jugadores de diferente nivel competitivo en diferentes edades, siendo en jugadores sub-11 la variable con mayor nivel de significación ( $p = .000$ ) de las estudiadas, obteniendo para ambas distancias un tamaño del efecto grande. Este hecho queda reforzado porque la velocidad sea también la variable más influyente en los procesos de selección de jóvenes futbolistas en esta edad (Gravina et al., 2008).

Encontramos también valores inferiores a  $p < .01$ , con tamaños del efecto moderados en la estimación del  $VO_{2máx}$ , al igual que en otros estudios (Coelho et al., 2010; Vaeyens et al., 2006). Este resultado, sin embargo, difiere del rendimiento aeróbico del estudio de Coelho (Coelho et al., 2010), en el que, aunque se obtienen mayores distancias en el test YOYO por parte del grupo élite, estas no resultan significativas. A tenor de los resultados, podemos determinar que la estimación del  $VO_{2máx}$  discrimina, como en la mayoría de los estudios en jóvenes jugadores de fútbol, entre diferentes niveles competitivos en jugadores sub-11.

Con respecto a la altura de salto, se reportan tamaños del efecto moderados, con valores de  $p < .05$  entre el grupo “élite” y “no élite”. Los resultados en esta variable son por tanto similares a otros estudios (Coelho et al., 2010; Gissis et al., 2006; Reilly et al., 2000; Vaeyens et al., 2006), excepto para un grupo de jugadores U13 (Vaeyens et al., 2006), diferencia que podría ser debida a patrones coordinativos del movimiento en los diferentes grupos de edad (Gissis et al., 2006). Parece por tanto que la altura de salto CMJ permite discriminar entre jugadores jóvenes de fútbol de diferente nivel competitivo.

Por último, hacer referencia tanto a la velocidad máxima de golpeo de balón como al índice de fatiga en altura de salto, variables que no han sido previamente estudiadas para comparar diferentes niveles competitivos en jugadores jóvenes de fútbol. En el primer caso obtenemos tamaños del efecto moderados con valores de  $p < .05$ , obteniendo el grupo “élite” velocidades de balón más elevadas que el grupo “no élite” en esta habilidad. En el caso del índice de fatiga de altura de salto, las diferencias que obtenemos entre ambos grupos no resultan significativas ( $p = .663$ ).

Para evitar posibles limitaciones del estudio, la muestra se podría ampliar a grupos de diferentes edades y género, de forma que se pudiera estudiar si las diferencias entre ambos grupos podrían hacerse extensibles a otros grupos de jóvenes jugadores de fútbol. A su

vez, el rango de variables relacionadas con test físicos y factores antropométricos podrían aumentarse.

Como futuras líneas de investigación relacionadas con este estudio, se propone el anteriormente citado aumento de la muestra a diferentes grupos de edad y género.

### 3.1.5. Conclusión

Los resultados obtenidos muestran que los jugadores sub-11 de un mayor nivel competitivo obtienen mejores resultados en velocidad en 15 y 30 metros, altura de salto CMJ, estimación del  $VO_{2\text{máx}}$  y velocidad máxima de golpeo de balón, pero no en el índice de fatiga de salto vertical.

Haciendo referencia a las variables antropométricas, no existen diferencias significativas entre los diferentes grupos de nivel competitivo en peso, altura e índice de masa corporal.

A nivel de aplicaciones prácticas, los resultados obtenidos en este estudio muestran como las variables antropométricas no serían un criterio adecuado para la selección de talentos en función de su nivel competitivo. Sin embargo, las variables relacionadas con parámetros físicos, especialmente los test relacionados con la velocidad, si nos permitirían discernir entre futbolistas de mayor y menor nivel competitivo.

### 3.1.6. Bibliografía

- Berjan Bacvarevic, B., Pazin, N., Bozic, P. R., Mirkov, D., Kukolj, M., & Jaric, S. (2012). Evaluation of a composite test of kicking performance. *J Strength Cond Res*, 26(7), 1945-1952. doi: 10.1519/JSC.0b013e318237e79d
- Bosco, C. (1994). *La valoración de la fuerza con el test de Bosco. Colección deporte y entrenamiento*. Barcelona: Editorial Paidotribo.
- Centeno-Prada, R. A., Lopez, C., & Naranjo-Orellana, J. (2015). Jump percentile: a proposal for evaluation of high level sportsmen. *J Sports Med Phys Fitness*, 55(5), 464-470.



- Coelho, E. S. M. J., Figueiredo, A. J., Simoes, F., Seabra, A., Natal, A., Vaeyens, R., . . . Malina, R. M. (2010). Discrimination of u-14 soccer players by level and position. *Int J Sports Med*, 31(11), 790-796. doi: 10.1055/s-0030-1263139
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates.
- Ferraz, R., van den Tillaar, R., & Marques, M. C. (2012). The effect of fatigue on kicking velocity in soccer players. *J Hum Kinet*, 35, 97-107. doi: 10.2478/v10078-012-0083-8
- Figueiredo, A. J., Coelho e Silva, M. J., & Malina, R. M. (2011). Predictors of functional capacity and skill in youth soccer players. *Scand J Med Sci Sports*, 21(3), 446-454. doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.01056.x
- Figueiredo, A. J., Goncalves, C. E., Coelho, E. S. M. J., & Malina, R. M. (2009). Characteristics of youth soccer players who drop out, persist or move up. *J Sports Sci*, 27(9), 883-891. doi: 10.1080/02640410902946469
- Francioni, F. M., Figueiredo, A. J., Terribili, M., & Tessitore, A. (2015). Analysis of the intraseasonal stability of field test performances in young academy soccer players. *J Sports Sci*, 1-7. doi: 10.1080/02640414.2015.1082612
- Gissis, I., Papadopoulos, C., Kalapotharakos, V. I., Sotiropoulos, A., Komsis, G., & Manolopoulos, E. (2006). Strength and speed characteristics of elite, subelite, and recreational young soccer players. *Res Sports Med*, 14(3), 205-214. doi: 10.1080/15438620600854769
- Gravina, L., Gil, S. M., Ruiz, F., Zubero, J., Gil, J., & Irazusta, J. (2008). Anthropometric and physiological differences between first team and reserve soccer players aged 10-14 years at the beginning and end of the season. *J Strength Cond Res*, 22(4), 1308-1314. doi: 10.1519/JSC.0b013e31816a5c8e
- Juárez, D., de Subijana, C. L., Mallo, J., & Navarro, E. (2011). Acute effects of endurance exercise on jumping and kicking performance in top-class young soccer players. *European Journal of Sport Science*, 11(3), 191-196. doi: 10.1080/17461391.2010.500335

- Kapidzic, A., Huremovic, T., & Biberovic, A. (2014). Kinematic analysis of the instep kick in youth soccer players. *J Hum Kinet*, 42, 81-90. doi: 10.2478/hukin-2014-0063
- le Gall, F., Carling, C., Williams, M., & Reilly, T. (2010). Anthropometric and fitness characteristics of international, professional and amateur male graduate soccer players from an elite youth academy. *J Sci Med Sport*, 13(1), 90-95. doi: 10.1016/j.jsams.2008.07.004
- Leger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *J Sports Sci*, 6(2), 93-101. doi: 10.1080/02640418808729800
- Markovic, G., Dizdar, D., & Jaric, S. (2006). Evaluation of tests of maximum kicking performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 46(2), 215-220.
- Marques, M. C., Pereira, A., Reis, I. G., & van den Tillaar, R. (2013). Does an in-Season 6-Week Combined Sprint and Jump Training Program Improve Strength-Speed Abilities and Kicking Performance in Young Soccer Players? *J Hum Kinet*, 39, 157-166. doi: 10.2478/hukin-2013-0078
- Meylan, C., Cronin, J., Oliver, J., & Hughes, M. (2010). Talent identification in soccer: The role of maturity status on physical, physiological and technical characteristics. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 5(4), 571-592. doi: 10.1260/1747-9541.5.4.571
- Ostojic, S. M., Stojanovic, M., & Ahmetovic, Z. (2010). [Vertical jump as a tool in assessment of muscular power and anaerobic performance]. *Med Pregl*, 63(5-6), 371-375.
- Pivarnik, J. M., Dwyer, M. C., & Lauderdale, M. A. (1996). The reliability of aerobic capacity (VO<sub>2</sub>max) testing in adolescent girls. *Res Q Exerc Sport*, 67(3), 345-348. doi: 10.1080/02701367.1996.10607962
- Ramsbottom, R., Brewer, J., & Williams, C. (1988). A progressive shuttle run test to estimate maximal oxygen uptake. *Br J Sports Med*, 22(4), 141-144.

- Reilly, T., Williams, A. M., Nevill, A., & Franks, A. (2000). A multidisciplinary approach to talent identification in soccer. *J Sports Sci*, 18(9), 695-702. doi: 10.1080/02640410050120078
- Russell, M., & Tooley, E. (2011). Anthropometric and performance characteristics of young male soccer players competing in the UK. *Serbian journal of sports sciences.*, 4, 155-162.
- Tanner, R. K., & Gore, C. J. (2000). *Physiological test fot elite athletes*. Champaign, IL: Human Kinetics
- Tomas, M., Frantisek, Z., Lucia, M., & Jaroslav, T. (2014). Profile, correlation and structure of speed in youth elite soccer players. *J Hum Kinet*, 40, 149-159. doi: 10.2478/hukin-2014-0017
- Unnithan, V., White, J., Georgiou, A., Iga, J., & Drust, B. (2012a). Talent identification in youth soccer. *Journal of Sports Sciences*, 30(15), 1719-1726. doi: 10.1080/02640414.2012.731515
- Unnithan, V., White, J., Georgiou, A., Iga, J., & Drust, B. (2012b). Talent identification in youth soccer. *J Sports Sci*, 30(15), 1719-1726. doi: 10.1080/02640414.2012.731515
- Vaeyens, R., Malina, R. M., Janssens, M., Van Renterghem, B., Bourgois, J., Vrijens, J., & Philippaerts, R. M. (2006). A multidisciplinary selection model for youth soccer: the Ghent Youth Soccer Project. *Br J Sports Med*, 40(11), 928-934; discussion 934. doi: 10.1136/bjism.2006.029652
- Vanttinen, T., Blomqvist, M., & Hakkinen, K. (2010). Development of body composition, hormone profile, physical fitness, general perceptual motor skills, soccer skills and on-the-ball performance in soccer-specific laboratory test among adolescent soccer players. *J Sports Sci Med*, 9(4), 547-556.

## **6.2. Estudio 2. Effects of muscle fatigue induced by countermovement jumps on efficacy parameters of instep ball kicking in soccer / Efectos de la fatiga muscular inducida por medio de saltos con contramovimiento en parámetros de eficacia en el golpeo en fútbol**

### **6.2.1. Introducción**

El principal objetivo en fútbol es conseguir más goles que el equipo contrario, lo cual resolverá el resultado de un partido. La acción técnica más utilizada para conseguir este propósito es el disparo, cuya eficacia estará determinada tanto por la velocidad como por la precisión con la que se realice. Esta acción está condicionada por la naturaleza intermitente del deporte, lo cual implica que en muchas ocasiones sea realizada con un alto grado de fatiga (Russell & Kingsley, 2011).

La mayoría de los estudios se centran en el análisis del golpeo con el empeine debido a que es la superficie de contacto usada para imprimir una mayor aceleración al balón, considerando que el éxito en la acción está relacionado con la habilidad de conseguir una mayor velocidad de golpeo (Nunome, Asai, Ikegami, & Sakurai, 2002).

A pesar de las dificultades para evaluar la acción de golpeo debido a los múltiples factores que lo envuelven (Russell & Kingsley, 2011), se ha determinado que la velocidad del pie en el momento del contacto con el balón es el factor principal que determina la velocidad de golpeo (Young & Rath, 2011). Estudios previos (Kellis & Katis, 2007) han encontrado altos coeficientes de correlación ( $r > .74$ ) entre la velocidad del pie y la velocidad del balón. Además, revisiones relacionadas con el golpeo (Lees, Asai, Andersen, Nunome, & Sterzing, 2010) encontraron una fuerte correlación entre la velocidad del pie y la velocidad del balón en los artículos revisados. Estas revisiones (Young & Rath, 2011) asumen como demostrado que el incremento o decremento de la velocidad del pie, en cualquiera de los golpes en fútbol, conlleva respectivamente el incremento o decremento de la velocidad del balón durante el golpeo.

Se ha reportado que los flexores de la cadera y los extensores de la rodilla de la pierna de golpeo son importantes para promover una alta velocidad del pie (Dörge et al., 1999), con el recto femoral siendo el músculo más activo en medidas con electromiografía durante

el disparo, incluyendo medidas del recto femoral, bíceps femoral, gastrocnemio y vasto medial (Manolopoulos, Katis, Manolopoulos, Kalapotharakos, & Kellis, 2013). Además del recto femoral, otro músculo muy activo es el psoas iliaco (Brophy, Backus, Pansy, Lyman, & Williams, 2007).

La fatiga conlleva un decremento en la capacidad de generar fuerza máxima o potencia, lo cual es asociado con actividad física continua y resulta en una reducción del rendimiento deportivo. Por lo tanto, esto podría afectar a acciones explosivas como acelerar, golpear o esprintar (Thorlund, Aagaard, & Madsen, 2009).

Diversos estudios han examinado la correlación entre la inducción de fatiga y la reducción de la velocidad de golpeo en fútbol. La mayoría concluyen que la fatiga tiene un efecto negativo en la velocidad de golpeo en fútbol. Sin embargo, a pesar de que algunos estudios han encontrado diferencias significativas (Apriantono, Nunome, Ikegami, & Sano, 2006; Ferraz et al., 2011; Kellis, Katis, & Vrabas, 2006), los datos presentados por otros estudios (Ferraz, Van Den Tillaar, & Marques, 2012; Russell, Benton, & Kingsley, 2011; Zemková & Hamar, 2009) sugieren que estas diferencias no son significativas y que la velocidad no disminuye con la fatiga, o que no existe una disminución progresiva entre diferentes circuitos, concluyendo que probablemente esta variabilidad sea debida a la metodología usada.

Los protocolos seguidos para calcular el efecto de la fatiga en la velocidad de golpeo son diversos, mostrando diferentes protocolos de fatiga.

Para la inducción de fatiga, se han usado ejercicios aislados de flexión y extensión de rodilla, con el 40 y el 50% del peso corporal respectivamente, consiguiendo con ello una reducción significativa de la velocidad de golpeo en condiciones de fatiga (Apriantono et al., 2006).

Otros estudios usaron ejercicios intermitentes como protocolo para inducir fatiga (Ferraz et al., 2011; Ferraz et al., 2012; Kellis et al., 2006). Kellis et al (2006) llevaron a cabo un circuito de 9600 metros, incluyendo diferentes intensidades de carrera, mostrando una reducción significativa de la velocidad de golpeo tras la aplicación del protocolo de fatiga. En el caso de los dos estudios de Ferraz et al (2011; 2012), se usó un protocolo de fatiga basado en un circuito con diferentes acciones explosivas de un partido. En el primer caso (Ferraz et al., 2011), se encontró una reducción significativa en la velocidad de golpeo.

Sin embargo, en el segundo caso (Ferraz et al., 2012), no se apreció una reducción en la velocidad de golpeo entre los diferentes circuitos.

Las simulaciones de partido y la propia competición han sido utilizadas para estimar el efecto de la fatiga en la velocidad de golpeo (Russell et al., 2011; Zemková & Hamar, 2009). En el estudio de Russell et al (2011), se usó una simulación de 90 minutos de duración, con una reducción de la velocidad de golpeo solo durante la segunda parte de la simulación. En el estudio de Zemková & Hamar (2009), las medidas se llevaron a cabo en el descanso y al final de una simulación de partido, sin decremento en la velocidad de golpeo ni en ninguno de los test realizados.

Existen diferentes razones por las cuales la velocidad de golpeo se reduce con la aparición de la fatiga. Parece aceptado que la principal causa para que se produzca un decremento de la velocidad con la fatiga se produce por una reducción de la coordinación en la pierna de golpeo así como por una reducción de la capacidad para generar fuerza, lo cual conlleva una menor velocidad angular en el pie y la reducción del momento angular en cada articulación (Aprianono et al., 2006; Ferraz et al., 2011; Ferraz et al., 2012; Kellis et al., 2006).

El salto con contramovimiento (CMJ) es una medida comúnmente utilizada para relacionar el rendimiento en salto con diferentes factores (Centeno-Prada, Lopez, & Naranjo-Orellana, 2015), así como los test de saltos continuos son una medida fiable del rendimiento anaeróbico (Dal Pupo et al., 2014). Además, los saltos continuos se han usado como protocolo de fatiga para analizar los efectos de la fatiga en la mecánica de carrera (Fischer, Storniolo, & Peyré-Tartaruga, 2015).

De acuerdo con esto, se han encontrado una gran diversidad de resultados, siendo utilizadas diferentes metodologías relacionadas con la inducción de fatiga y sus efectos en la eficacia del golpeo en fútbol. El propósito de este estudio fue investigar el efecto de la fatiga muscular inducida por CMJ en la velocidad del pie de golpeo en jugadores jóvenes de fútbol. La hipótesis previa fue que la fatiga inducida por CMJ podría disminuir la velocidad del pie en el golpeo en fútbol.

### 6.2.2. Métodos

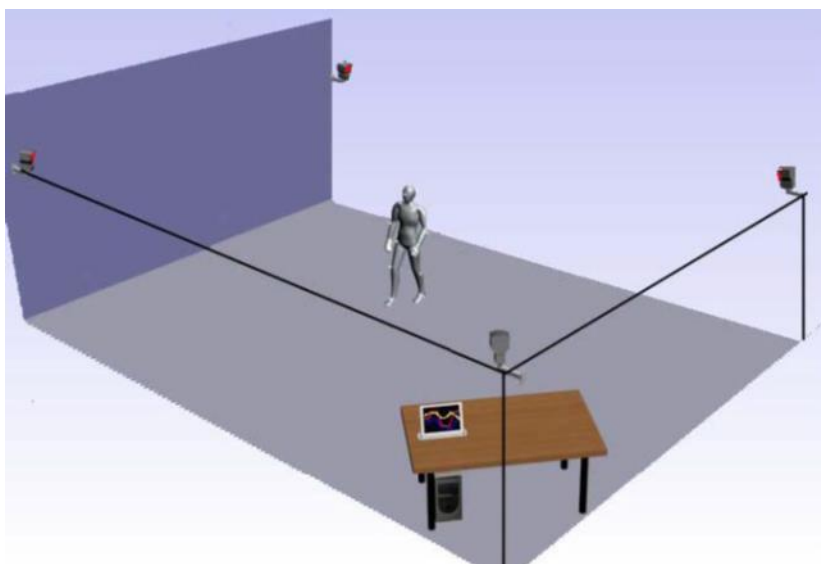
#### *Participantes*

La muestra estaba compuesta por 15 futbolistas con las siguientes características: rango de edad (años) = 17-18, peso (media  $\pm$  DT, kg) =  $72,66 \pm 7,41$ , altura (media  $\pm$  DT, m) =  $1,79 \pm 0,05$ . Los jugadores pertenecían a un equipo juvenil de la máxima categoría sub-19 española. Todos los jugadores tenían un mínimo de experiencia de 7 temporadas en competiciones oficiales. En el momento del estudio, no se diagnosticó ninguna lesión ni ninguno de los jugadores se encontraba en proceso de recuperación.

Todos los participantes y sus padres o tutores fueron informados previamente sobre el propósito del estudio y el tipo de pruebas realizadas. Cada uno de los jugadores y sus padres o tutores firmó un consentimiento informado siguiendo las recomendaciones de la declaración de Helsinki. El estudio fue aprobado por el comité de ética de la Universidad Pablo de Olavide.

### *Instrumentos*

Para la generación de los datos se usó el sistema de captura del movimiento CLIMA (STT, España). Este incluye un chaleco, una gorra, 21 marcadores reflectantes, el software 3D Soccer Analyzer (STT, España) y cuatro cámaras de 50 Hz, las cuales fueron colocadas siguiendo el protocolo (Figura 6.2.1).



**Figura 6.2.1.** Ubicación de las cámaras del sistema óptico de seguimiento para la captura del movimiento del sistema CLIMA.

El sistema CLIMA, previamente usado en otras investigaciones (Gonzalez-Jurado, Pérez, & Martín, 2012; Gonzalez-Jurado, Vivas Moreno, & Floria Martín, 2011), es un sistema óptico de análisis el movimiento, que tiene como objetivo dar las magnitudes físicas que caracterizan la ejecución de un atleta concreto, permitiendo ver las capturas mediante una aplicación para vistas 3D, o imágenes reales de la acción realizada, así como las coordenadas de cada uno de los indicadores reflectores que porta el deportista.

Dicho sistema necesita un proceso de calibración, que tiene como objetivo computar los parámetros extrínsecos (vectores y ángulos que definen la posición de cada cámara) e intrínsecos (factores numéricos que definen las características particulares de la óptica usada por cada cámara), permitiendo definir un marco global de referencia para todas las cámaras usadas en el sistema óptico de captura del movimiento.

El sistema de captura de movimiento STT usa un modelo matemático no lineal para lentes, el cual tiene en cuenta la distorsión geométrica generada por lentes de distancia focal corta. Para este caso particular, los parámetros intrínsecos incluyen los factores de escala así como también los coeficientes radiales y tangenciales de distorsión. Dicho sistema incluye un módulo de software que calcula todos esos parámetros de forma automática.

Tras el proceso de calibración, para obtener el modelo biomecánico que representa los movimientos del deportista, se colocaron 21 marcadores siguiendo las indicaciones descritas en el manual del sistema CLIMA (Figura 6.2.2):





**Figura 6.2.2.** Ubicación de los marcadores del sistema óptico de seguimiento para la captura del movimiento del sistema CLIMA.

Las variables de CMJ fueron recopiladas usando la plataforma dinamométrica Kitsler *Quatro jump*, con el software *Quatro Jump* v.1.0.9.0. Este equipamiento ha sido usado previamente en otros estudios (Jaggers, Swank, Frost, & Lee, 2008; Ortega, Rodriguez Bies, & Berral de la Rosa, 2010).

#### *Diseño*

El protocolo de investigación usado fue (Figura 6.2.3):

6.2. Effects of muscle fatigue induced by countermovement jumps on efficacy parameters of instep ball kicking in soccer

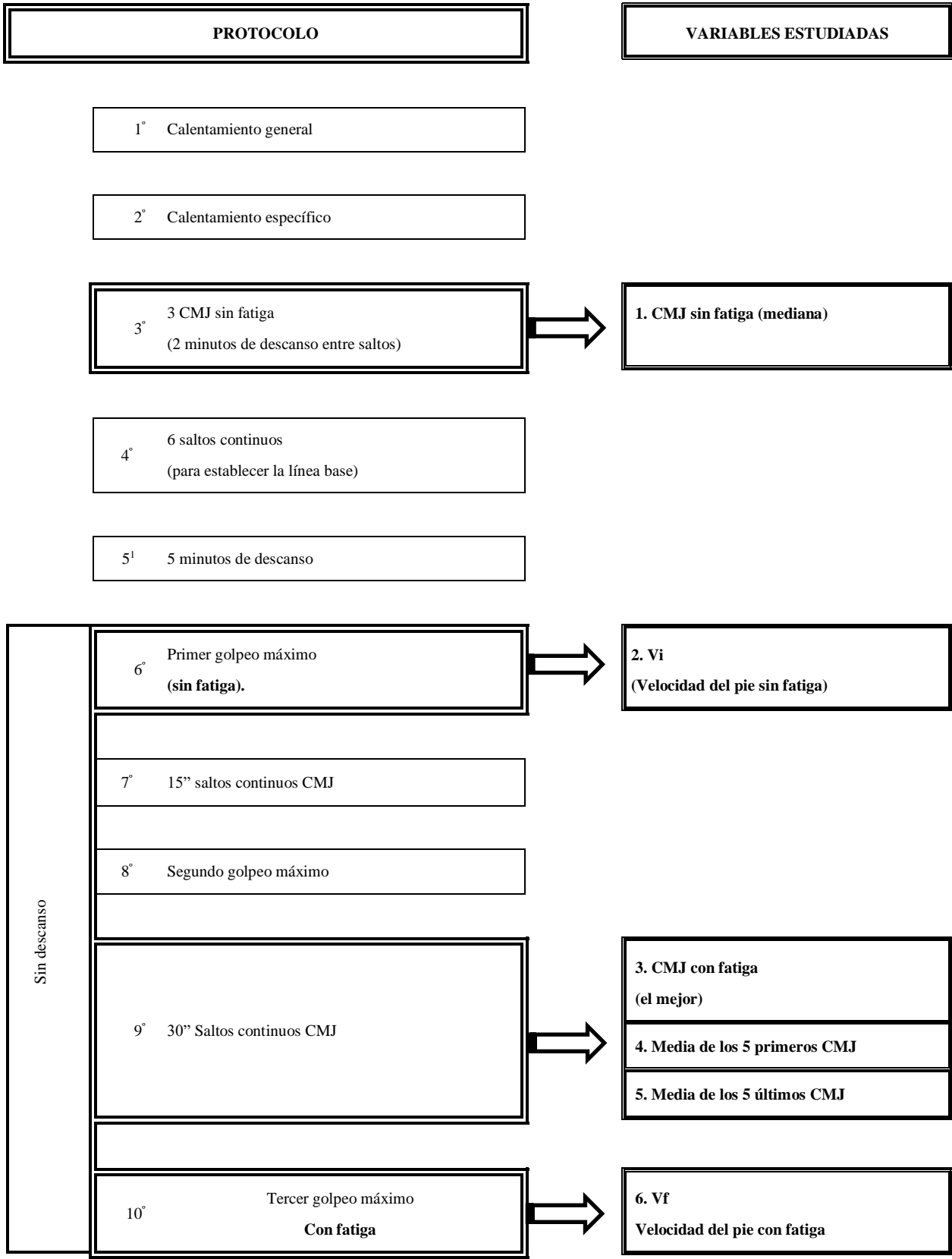


Figura 6.2.3. Protocolo y variables estudiadas.

1. Calentamiento general (8 minutos): movilidad articular, activación cardiovascular y estiramientos.
2. Calentamiento específico (4 minutos): golpeo, test submáximos de CMJ y estiramientos.
3. Tres saltos CMJ en la plataforma dinamométrica con el propósito de conseguir la máxima altura de salto, incluyendo 2 minutos de recuperación entre saltos. La mediana de los 3 saltos fue seleccionada. La fiabilidad fue evaluada calculando el coeficiente de correlación intraclase (CCI), 0,957. El mayor coeficiente de variación fue de 0,05.
4. Seis saltos continuos sobre la plataforma dinamométrica para establecer la línea base (siguiendo el protocolo de saltos continuos para Kistler *Quattro jump*).
5. 5 minutos de descanso.
6. Un golpeo máximo para obtener una captura 3D sin fatiga.
7. Sin descanso, saltos CMJ continuos y máximos durante 15 segundos sobre la plataforma dinamométrica.
8. Inmediatamente después, se realiza un segundo golpeo máximo.
9. Sin descanso, los sujetos realizaron saltos CMJ sobre la plataforma durante 30 segundos, con el objetivo de conseguir la máxima altura en cada salto.
10. A continuación, sin descanso, los sujetos realizan tres golpes máximos en condiciones de fatiga.

Variables estudiadas (Figura 6.2.3):

1. CMJ sin fatiga. Mediana de la altura en los tres saltos antes del protocolo de fatiga.
2. Velocidad del pie sin fatiga ( $V_i$ ). Para calcular la velocidad del pie en el momento del impacto, se usó el segmento del pie más cercano al suelo (la menor posición con respecto al eje Y, según los datos del sistema CLIMA). Se consideraron los valores de velocidad en el frame previo al golpeo y en el frame posterior, calculando la media de la velocidad del pie entre las tres imágenes. El valor medio es considerado como velocidad del pie en el momento del impacto.
3. CMJ sin fatiga. Altura del mejor CMJ en el test de fatiga de 30”.
4. Media de los 5 primeros saltos CMJ, en el test de fatiga de 30”.
5. Media de los 5 últimos saltos CMJ, en el test de fatiga de 30”.
6. Velocidad del pie con fatiga ( $V_f$ ). Se siguió el mismo método que para calcular la velocidad del pie sin fatiga.

### *Análisis estadístico*

Para el análisis estadístico se ha utilizado el software IBM SPSS 22 (Armonk, NY). En cuanto a estadísticos descriptivos se calcularon la media, la desviación típica y el coeficiente de variación.

Para evitar posibles errores que pudieran ocurrir en la medición debido a la baja frecuencia de las cámaras (50 Hz), se calculó el coeficiente de variación entre las medidas de velocidad del pie de las diferentes imágenes. Con el propósito de determinar la consistencia de las medidas, se calculó el coeficiente de correlación intraclase (CCI) entre las 3 imágenes de cada disparo. El coeficiente de variación ha sido frecuentemente usado para determinar la fiabilidad en estudios similares con lanzamientos (Harasin, Dizdar, & Markovic, 2006), así como para todos los tipos de golpes en fútbol, rugby o fútbol americano (Markovic, Dizdar, & Jaric, 2006).

Respecto a la estadística inferencial, para comparar medias se ha aplicado *t* de Student para datos apareados o Wilcoxon, según el ajuste a la normalidad calculada con el test de Shapiro-Wilk. Asimismo se ha calculado el tamaño del efecto de Cohen (Cohen, 1988).

Para establecer si existieron correlaciones entre variables se ha calculado la *r* de Pearson, estableciendo la significación estadística para  $p < .05$ .

### **6.2.3. Resultados**

Los golpes sin fatiga (0.917) y los golpes con fatiga (0.896) mostraron alta concordancia entre las velocidades grabadas en las tres imágenes del golpeo. El mayor coeficiente de variación obtenido fue 0.19 (Tabla 6.2.1.). Además, se muestra la velocidad de todos los sujetos en cada frame, así como la velocidad media, en condiciones de fatiga y sin fatiga. El coeficiente de correlación intraclase se calculó para la muestra completa. La fatiga inducida por medio de CMJ causó un decremento significativo de la altura de salto ( $p < .0001$ ) entre la media de los 5 primeros saltos ( $38,2 \pm 2,7$ ) y la media de los últimos 5 saltos ( $31,7 \pm 3,5$ ) en el test de fatiga de 30 segundos (Figura 6.2.4). También se muestra el porcentaje de cambio entre ambas variables en el test.

**Tabla 6.2.1.** Velocidad del pie en cada sujeto con y sin fatiga.

Sujeto	Velocidad del pie sin fatiga (m/s)					Velocidad del pie con fatiga (m/s)				
	Frame-1 <sup>¥</sup>	Frame 0 <sup>¥</sup>	Frame 1 <sup>¥</sup>	Media	CV	Frame-1 <sup>§</sup>	Frame 0 <sup>§</sup>	Frame 1 <sup>§</sup>	Mean	CV
1	13.43	13.57	13.35	13.45	0.01	13.40	13.85	13.33	13.53	0.02
2	14.01	15.60	14.04	14.55	0.06	16.52	13.10	16.06	15.23	0.12
3	13.74	12.83	11.67	12.75	0.08	10.14	13.24	11.25	11.54	0.14
4	16.78	17.31	14.98	16.36	0.07	18.55	19.29	16.86	18.23	0.07
5	14.62	14.40	12.15	13.72	0.10	16.58	16.16	12.03	14.92	0.17
6	14.58	15.27	11.65	13.83	0.14	15.58	13.87	10.67	13.37	0.19
7	17.12	15.94	13.28	15.45	0.13	16.37	15.68	13.32	15.13	0.11
8	17.47	19.11	18.76	18.45	0.05	16.08	16.80	14.91	15.93	0.06
9	13.42	14.63	14.52	14.19	0.05	14.07	13.68	11.82	13.19	0.09
10	20.59	21.98	20.84	21.14	0.04	16.33	18.72	17.89	17.64	0.07
11	13.11	13.71	11.20	12.68	0.10	11.45	11.15	10.42	11.01	0.05
12	17.40	16.68	13.80	15.96	0.12	16.39	17.93	17.05	17.12	0.05
13	15.99	17.75	14.72	16.15	0.09	19.01	19.01	14.73	17.58	0.14
14	16.70	18.71	16.58	17.33	0.07	17.72	20.00	19.95	19.22	0.07
15	13.51	17.82	17.69	16.34	0.15	15.89	14.99	14.47	15.12	0.05

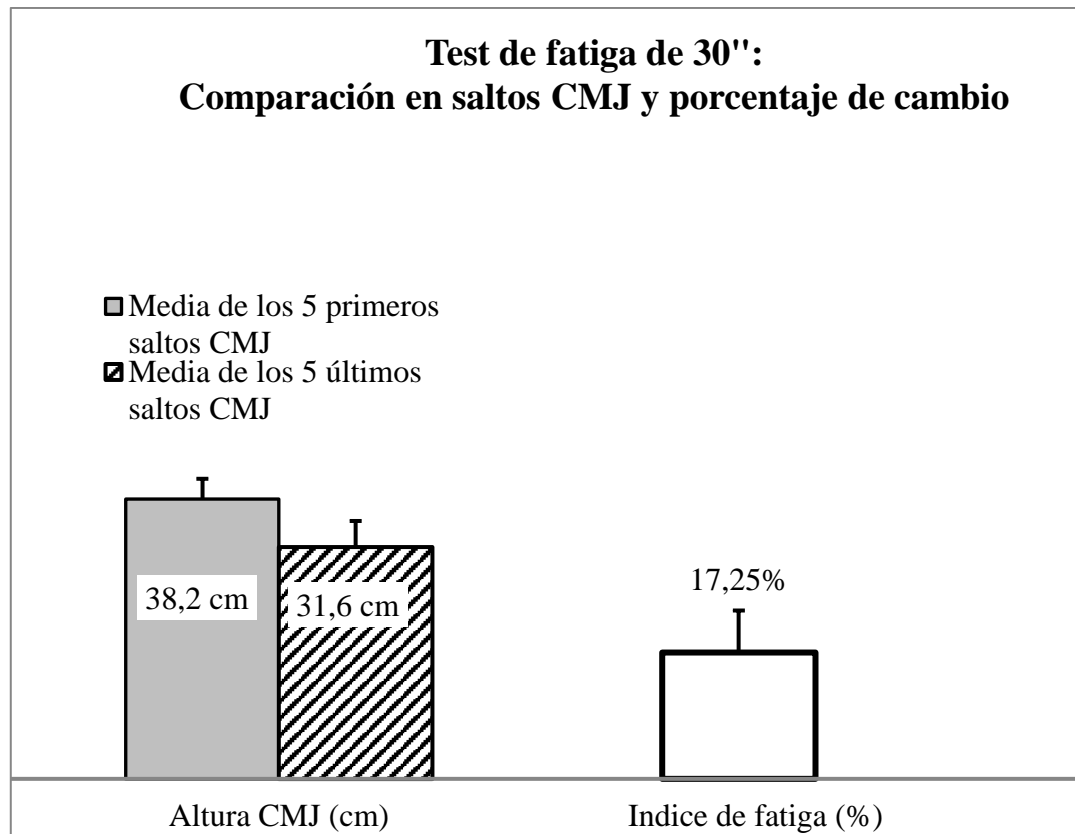
Frame -1. Velocidad del pie en el frame anterior al impacto

Frame 0. Velocidad del pie en el frame del impacto

Frame 1. Velocidad del pie en el frame posterior al impacto

<sup>¥</sup> Coeficiente de correlación intraclase 0.917

<sup>§</sup> Coeficiente de correlación intraclase 0.896



**Figura 6.2.4.** Comparación de los 5 primeros y los 5 últimos saltos CMJ en el test de saltos continuos y cambio en el test de fatiga.  $p < .0001$  en  $t$  de Student y tamaño del efecto de Cohen  $d = -1.8$  (grande). CMJ = Salto con contramovimiento.

No se mostraron diferencias significativas en la velocidad del pie entre condiciones de fatiga y sin fatiga ( $p = 0.580$ ) y el tamaño del efecto fue pequeño (0.09). Con respecto a la altura de CMJ, se obtuvo significatividad estadística entre las dos medidas ( $p = 0.00$ ) con un tamaño del efecto grande (0,8) (Tabla 6.2.2).

**Tabla 6.2.2.** Velocidad del pie (m/s) y altura en CMJ (cm) sin fatiga vs. con fatiga (Media $\pm$ DE)

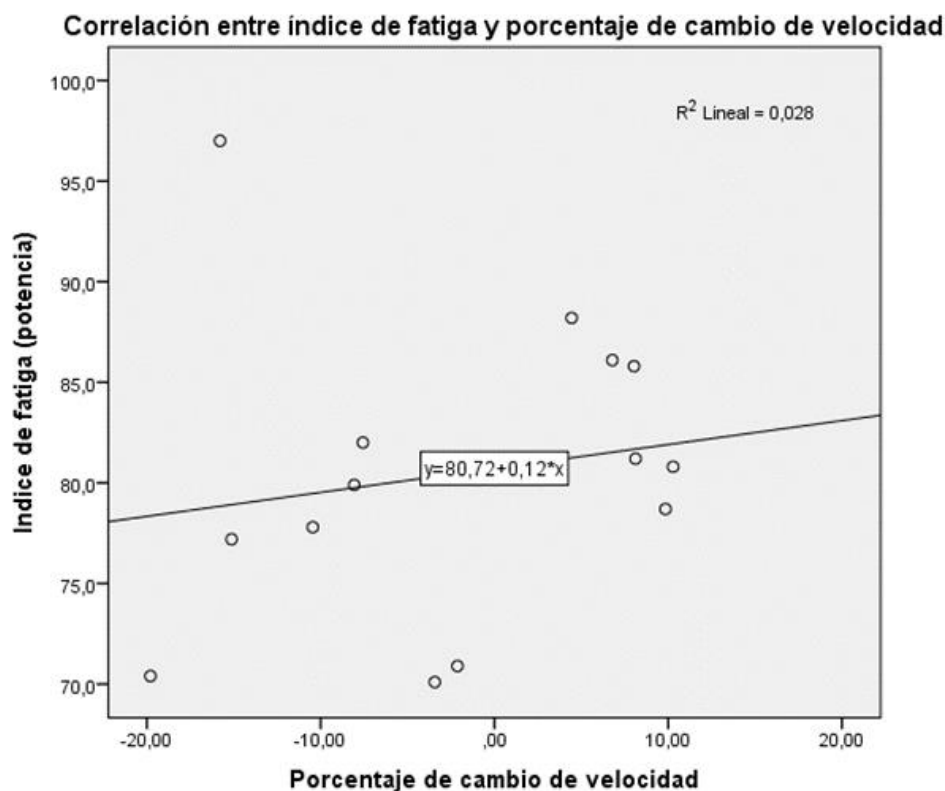
	Sin fatiga	Con fatiga	Cambio	IC (95%)	Valor de <i>p</i>	Tamaño del efecto <sup>§</sup>	
						Valor	Magnitud
<b>Velocidad (m/s)</b>	15.5 $\pm$ 2.3	15.2 $\pm$ 2.4	0.24 $\pm$ 1.63	-0.66-1.13	0.58*	0.10	Pequeño
<b>CMJ (cm)</b>	44.03 $\pm$ 3.9	41.02 $\pm$ 3.8	3.01 $\pm$ 4	0.78-5.2	0.00**	0.8	Grande

\* *p* > .05 para T de Student.

\*\* *p* < .05 para Wilcoxon.

<sup>§</sup> Tamaño del efecto de Cohen (Cohen, 1988).

No existió correlación ( $r = .149$ ;  $p = .596$ ) en el cambio de la velocidad del pie entre condiciones de fatiga y no fatiga y el porcentaje de cambio en el test de fatiga de 30 segundos (Figura 6.2.5), aunque se observa una tendencia positiva.



**Figura 6.2.5.** Correlación entre índice de fatiga y porcentaje de cambio en la velocidad del pie entre Vi y Vf ( $r = 0.149$ ;  $p = 0.596$ ).

#### 6.2.4. Discusión

El propósito de este estudio fue analizar el efecto de la fatiga, inducida por medio de saltos verticales, en la velocidad del pie en jugadores jóvenes de fútbol.

La Tabla 6.2.1. muestra los resultados de la velocidad del pie en el momento del impacto con el balón en todos los sujetos analizados. El coeficiente de variación y el coeficiente de correlación intraclase obtenido indican una remarcable fiabilidad entre los datos de los diferentes frames usados para determinar los valores de velocidad del pie en el momento del impacto con el balón. Los datos obtenidos en términos de velocidad del pie en este estudio son similares a los datos obtenidos en otros estudios (Russell et al., 2011; Sakamoto, Shimizu, Yamada, Hong, & Asai, 2013).

El protocolo de fatiga usado en este estudio fue suficientemente intenso para generar una fatiga tangible en las estructuras musculares implicadas en el salto vertical. De esta forma, se obtuvo un decremento en el rendimiento en salto, resultante en un cambio del 17.25% (Figura 6.2.4). Este protocolo o test de fatiga ha sido previamente usado y validado, concluyendo que es efectivo para inducir fatiga (Dal Pupo et al., 2014). Los protocolos basados en saltos continuos son frecuentemente usados para medir el efecto de la fatiga (Buchheit, Spencer, & Ahmaidi, 2010), así como para inducir fatiga en los grupos musculares implicados en el protocolo (Fischer et al., 2015). Como consecuencia, la ejecución del último disparo (golpeo con fatiga) fue realizado bajo condiciones de evidente y objetiva fatiga en los músculos responsables de la extensión de rodilla, flexión plantar del tobillo y extensión de la cadera, los cuales son los músculos involucrados en el CMJ.

En este sentido, la comparación entre la mediana de la altura en los saltos CMJ sin fatiga con respecto a la altura cuando los saltos fueron ejecutados con fatiga después del protocolo de saltos durante 15 segundos mostró una reducción significativa, con un tamaño del efecto considerado como grande (0.8). Esto quiere decir que, antes de completar el test de fatiga de 30 segundos, el sujeto ya alcanzó un decremento significativo en el rendimiento en CMJ, 44 vs. 41 cm (Tabla 6.2.2). Como ha sido anteriormente mencionado, esto demuestra la eficiencia del protocolo de saltos continuos CMJ para inducir fatiga y por lo tanto influenciando el rendimiento en salto vertical (Dal Pupo et al., 2014). Como consecuencia, la fatiga generada en los músculos implicados en el CMJ antes del tercer disparo fue más que considerable (Figura 6.2.4).



De acuerdo con los resultados obtenidos para la velocidad del pie sin fatiga y después de inducir fatiga, se observa un ligero decremento en la velocidad del pie en el momento del impacto con el balón. Esta diferencia no es estadísticamente significativa y presenta un tamaño del efecto considerado como bajo (0.10) (Tabla 6.2.2). Además se muestra (Figura 6.2.5) que no hay correlación entre el cambio de velocidad del pie bajo condiciones de fatiga y el cambio en la altura en el test de fatiga de 30 segundos ( $r = 0.149$ ;  $p = 0.596$ ). Estos resultados son consistentes con los resultados obtenidos en un estudio que comparó el rendimiento en algunas habilidades en fútbol antes del partido, en el descanso y al final, en el cual no se mostró una reducción en la velocidad de golpeo entre las diferentes situaciones (Zemková & Hamar, 2009). En la misma línea, Ferraz et al (2012) mostraron que la velocidad de golpeo no disminuyó al inducir fatiga, aunque en este estudio se llevó a cabo un protocolo de investigación diferente. Después de repetir 5 veces un circuito de 90 segundos que inducía fatiga por medio de diferentes acciones simulando un partido, no hubo una reducción significativa de la velocidad de golpeo en ninguno de los itinerarios del circuito. Estos resultados son también coincidentes con los obtenidos por Russell et al (2011), quienes no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la velocidad de golpeo inicial y la velocidad de golpeo final después de una simulación de partido de 90 minutos. Sin embargo, al igual que en el presente estudio, se observa una reducción en la velocidad del pie, la cual no es estadísticamente significativa, siendo similar a la reducción mostrada (Tabla 6.2.3) entre el disparo con fatiga y sin fatiga (15.5 vs 15.2). Se ha reportado que después de la aplicación de un protocolo de fatiga, se encuentra un decremento significativo en la velocidad de golpeo (Ferraz et al., 2011). La fatiga fue inducida por un circuito intermitente, el cual finaliza con valores de frecuencia cardiaca entre el 85 y el 95% de la frecuencia cardiaca máxima. Desde nuestro punto de vista, tan solo obtener el porcentaje de la frecuencia cardiaca podría no ser la mejor variable fisiológica para establecer una correlación entre el grado de fatiga alcanzado y la reducción en la velocidad de golpeo, debido al hecho de que una pequeña variación en la frecuencia cardiaca podría no tener influencia en los músculos implicados en el golpeo.

En un estudio diferente, la fatiga fue inducida en los músculos extensores y flexores de rodilla usando una máquina de pesas (Nautilus) con el 50 y el 40% del peso corporal respectivamente, realizando el protocolo de fatiga hasta la extenuación (Apriantono et al., 2006). Hubo un decremento significativo en la velocidad de golpeo, aunque la

extenuación total de un grupo muscular en pocas ocasiones ocurriría durante un partido de fútbol. Kellis et al (2006) informaron de un decremento en la velocidad del pie después de un protocolo de fatiga basado en una simulación de partido, midiendo amonio y lactato sanguíneo, los cuales mostraron un incremento significativo.

La ligera diferencia obtenida entre la velocidad de golpeo con y sin fatiga en nuestro estudio podría ser debida al hecho de que los músculos que son fatigados con los saltos verticales continuos no son los principales responsables para conseguir una elevada velocidad del pie en el golpeo. A pesar de que el CMJ es un movimiento global que activa un gran número de grupos musculares (Bobbert & Van Ingen Schenau, 1988), los principales músculos responsables para este movimiento son los extensores de rodilla y, en menor medida, los extensores de la cadera, los cuales son por tanto los músculos con mayor fatiga tras llevar a cabo el protocolo de fatiga en este estudio. Sin embargo, en el golpeo en fútbol, los flexores de la cadera juegan un rol fundamental en la aceleración de la extremidad inferior durante el golpeo (Kellis & Katis, 2007). De esta forma, Young and Rath (2011), informaron de que la velocidad de golpeo es determinada por una secuencia compleja de contracciones concéntricas de los flexores de cadera y los extensores de rodilla, durante la cual ambos músculos juegan un rol muy importante para generar velocidad en el pie.

Diferentes grupos musculares han sido analizados con electromiografía durante el golpeo, con datos de porcentaje de activación con respecto a la máxima activación isométrica. Dorge et al (1999) encontraron medidas de hasta el 100.9% en el psoas iliaco y del 102% en el vasto lateral, con una menor activación en otros músculos como son el recto femoral al 68.7%, el bíceps femoral al 30% y el glúteo máximo al 31.2%. Parece por tanto que los músculos flexores de la cadera, que no son fatigados con el protocolo aplicado en este estudio, tienen una gran implicación en la aceleración del pie de golpeo, lo cual podría explicar porque no se encuentran valores estadísticamente significativos en nuestro estudio para la diferencia entre el golpeo con fatiga y el golpeo sin fatiga.

Algunas limitaciones deberían de ser resueltas. Para entender como la fatiga afecta al golpeo en fútbol, sería necesario diseñar protocolos de ejercicio que se focalizaran en aquellos grupos musculares que juegan un rol más importante en la cadena cinética de la acción de golpeo. Además, la muestra debería ser más amplia.

### 6.2.5. Conclusiones

El protocolo diseñado fue lo suficientemente intenso para inducir fatiga en los grupos involucrados en el CMJ dentro del grupo de futbolistas estudiado. En referencia a nuestra hipótesis previa, a pesar de que los músculos involucrados en el CMJ presentaron una considerable fatiga muscular, la velocidad del pie después del protocolo de fatiga no disminuyó significativamente con respecto a la velocidad del pie sin fatiga previa en la muestra. A pesar de que existe una tendencia positiva, no se encontró correlación entre el cambio de porcentaje obtenido en los cinco primeros saltos y los últimos cinco saltos en el test de fatiga de 30 segundos en plataforma dinamométrica y el cambio en la velocidad del pie durante el golpeo con y sin fatiga.

### 6.2.6. Referencias bibliográficas

- Apriantono, T., Nunome, H., Ikegami, Y., & Sano, S. (2006). The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), 951-960.
- Bobbert, M. F., & Van Ingen Schenau, G. J. (1988). Coordination in vertical jumping. *Journal of Biomechanics*, 21(3), 249-262.
- Brophy, R. H., Backus, S. I., Pansy, B. S., Lyman, S., & Williams, R. J. (2007). Lower extremity muscle activation and alignment during the soccer instep and side-foot kicks. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 37(5), 260-268.
- Buchheit, M., Spencer, M., & Ahmaidi, S. (2010). Reliability, usefulness, and validity of a repeated sprint and jump ability test. *Int J Sports Physiol Perform*, 5(1), 3-17.
- Centeno-Prada, R. A., Lopez, C., & Naranjo-Orellana, J. (2015). Jump percentile: a proposal for evaluation of high level sportsmen. *J Sports Med Phys Fitness*, 55(5), 464-470.
- Cohen, J. (1988). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. *Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey*.
- Dal Pupo, J., Gheller, R. G., Dias, J. A., Rodacki, A. L. F., Moro, A. R. P., & Santos, S. G. (2014). Reliability and validity of the 30-s continuous jump test for anaerobic

- fitness evaluation. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(6), 650-655. doi: 10.1016/j.jsams.2013.09.007
- Dörge, H. C., Bull Andersen, T., Sørensen, H., Simonsen, E. B., Aagaard, H., Dyhre-Poulsen, P., & Klausen, K. (1999). EMG activity of the iliopsoas muscle and leg kinetics during the soccer place kick. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 9(4), 195-200.
- Ferraz, R., van den Tillaar, R., Ferraz, S., Santos, A., Mendes, R., Marinho, D. A., . . . Marques, M. C. (2011). A pilot study on the influence of fatigue on kicking velocity in the soccer players. *Journal of Physical Education and Sport*, 11(2), 68-71.
- Ferraz, R., Van Den Tillaar, R., & Marques, M. C. (2012). The effect of fatigue on kicking velocity in soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 35(1), 97-107.
- Fischer, G., Storniollo, J. L. L., & Peyré-Tartaruga, L. A. (2015). Effects of fatigue on running mechanics: Spring-mass behavior in recreational runners after 60 seconds of countermovement jumps. *Journal of Applied Biomechanics*, 31(6), 445-451. doi: 10.1123/jab.2014-0235
- Gonzalez-Jurado, J. A., Pérez, A. M. M., & Martín, F. P. (2012). Differences in kinematics parameters in soccer kick between male and female. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Fisica y del Deporte*, 12(47), 431-443.
- Gonzalez-Jurado, J. A., Vivas Moreno, M., & Floria Martín, P. (2011). Análisis por fotogrametría 3D de la técnica de swing de una golfista profesional. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Fisica y del Deporte*, 11(42), 236-254.
- Harasin, D., Dizdar, D., & Markovic, G. (2006). High reliability of tests of maximum throwing performance. *Journal of Human Movement Studies*, 51(1), 63-76.
- Jaggers, J. R., Swank, A. M., Frost, K. L., & Lee, C. D. (2008). The acute effects of dynamic and ballistic stretching on vertical jump height, force, and power. *J Strength Cond Res*, 22(6), 1844-1849. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181854a3d

- Kellis, E., & Katis, A. (2007). Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(2), 154-165.
- Kellis, E., Katis, A., & Vrabas, I. S. (2006). Effects of an intermittent exercise fatigue protocol on biomechanics of soccer kick performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 16(5), 334-344.
- Lees, A., Asai, T., Andersen, T. B., Nunome, H., & Sterzing, T. (2010). The biomechanics of kicking in soccer: a review. *Journal of Sports Sciences*, 28(8), 805-817.
- Manolopoulos, E., Katis, A., Manolopoulos, K., Kalapotharakos, V., & Kellis, E. (2013). Effects of a 10-week resistance exercise program on soccer kick biomechanics and muscle strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(12), 3391-3401.
- Markovic, G., Dizdar, D., & Jaric, S. (2006). Evaluation of tests of maximum kicking performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 46(2), 215-220.
- Nunome, H., Asai, T., Ikegami, Y., & Sakurai, S. (2002). Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(12), 2028-2036.
- Ortega, D. R., Rodriguez Bies, E. C., & Berral de la Rosa, F. J. (2010). Analysis of the vertical ground reaction forces and temporal factors in the landing phase of a countermovement jump. *J Sports Sci Med*, 9(2), 282-287.
- Russell, M., Benton, D., & Kingsley, M. (2011). The effects of fatigue on soccer skills performed during a soccer match simulation. *Int J Sports Physiol Perform*, 6(2), 221-233.
- Russell, M., & Kingsley, M. (2011). Influence of exercise on skill proficiency in soccer. *Sports Medicine*, 41(7), 523-539.
- Sakamoto, K., Shimizu, Y., Yamada, E., Hong, S., & Asai, T. (2013). *Difference in kicking motion between female and male soccer players*. Paper presented at the Procedia Engineering.
- Thorlund, J. B., Aagaard, P., & Madsen, K. (2009). Rapid muscle force capacity changes after soccer match play. *International journal of sports medicine*, 30(4), 273-278.

Young, W. B., & Rath, D. A. (2011). Enhancing foot velocity in football kicking: the role of strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 561-566.

Zemková, E., & Hamar, D. (2009). The effect of soccer match induced fatigue on neuromuscular performance. *Kinesiology*, 41(2), 195-202.

### **6.3. Estudio 3. Relationships between fitness test and kicking velocity in young soccer players. / Relaciones entre test físicos y la velocidad de golpeo en jugadores jóvenes de fútbol**

#### **6.3.1. Introducción**

Las medidas fisiológicas, a partir de la realización de test específicos, han sido utilizadas para determinar factores relacionados con el éxito en la selección de jugadores jóvenes de fútbol (Bidaurrezaga-Letona, Lekue, Amado, Santos-Concejero, & Gil, 2015; Gil et al., 2014; Meylan, Cronin, Oliver, & Hughes, 2010; Unnithan, White, Georgiou, Iga, & Drust, 2012). Al mismo tiempo, una mayor eficacia en los test que miden habilidades técnicas podrían, en algunos casos, discriminar entre jugadores jóvenes de fútbol de diferentes niveles. Este ha sido el caso para diferentes habilidades técnicas, como son el regate (Malina et al., 2005; Strauss, Jacobs, & Van Den Berg, 2014; Wong, Chamari, Dellal, & Wisløff, 2009; Zago et al., 2015), el control del balón (Malina et al., 2005; Strauss et al., 2014), el pase (Malina et al., 2005; Strauss et al., 2014) y el golpeo (Malina et al., 2005; Strauss et al., 2014; Wong et al., 2009).

En la literatura especializada podemos encontrar ejemplos de correlaciones entre el rendimiento en test específicos de condición física y habilidades técnicas en fútbol. Por ejemplo, se han reportado correlaciones estadísticamente significativas entre la precisión en el pase, el sprint en 10 metros y la altura del salto CMJ (Vantinen, Blomqvist, & Hakkinen, 2010), entre el pase corto y el tiempo en esprint en 5, 20 y 30 metros (Benounis et al., 2013), entre el regate y el rendimiento en un test intermitente de 20 metros y con un test de esprines repetidos (Strauss et al., 2014), así como entre la velocidad de golpeo y la altura del salto vertical (Brooks, Clark, & Dawes, 2013).

En fútbol, el golpeo es la acción técnica más estudiada, siendo evaluada en la mayoría de las ocasiones por la máxima velocidad alcanzada por el balón (Rodríguez-Lorenzo, Fernandez-Del-Olmo, & Martín-Acero, 2015). El golpeo se caracteriza por ser un movimiento multiarticular (Kellis & Katis, 2007), en el cual la pierna de golpeo ha sido el segmento más estudiado, a pesar de que otros aspectos como la aproximación al balón, la pierna de apoyo, la parte superior del cuerpo, la pelvis o la interacción pie-balón podrían tener influencia en el resultado final (Lees, Asai, Andersen, Nunome, & Sterzing,

2010). Como consecuencia, las medidas antropométricas podrían tener cierta importancia en la velocidad final alcanzada por el balón.

Varios estudios han relacionado la velocidad máxima de golpeo con diferentes test físicos. En este sentido, las medidas de velocidad de golpeo usando ambas piernas han sido comparadas con el tiempo en esprint en 5,10 y 20 metros en una selección nacional sub-16 (Tomas, Frantisek, Lucia, & Jaroslav, 2014), encontrando solo una correlación significativa entre la velocidad de golpeo en la pierna dominante y la no dominante. Sin embargo, otros autores encontraron una correlación débil entre la velocidad máxima de golpeo, el salto desde sentadilla (SJ), el CMJ y el tiempo en esprint en 5, 10 y 20 metros (D. Juarez Santos-García & Navarro Valdivieso, 2004). En este mismo sentido, podemos ver como la mejora de la velocidad de golpeo conlleva una simultánea mejora del salto CMJ y los tiempos en esprint en jugadores sub-16 (Garcia-Pinillos, Martinez-Amat, Hita-Contreras, Martinez-Lopez, & Latorre-Roman, 2014). Otro estudio mostró correlaciones entre algunas variables en 22 futbolistas femeninas de élite (Brooks et al., 2013). La velocidad máxima fue analizada a la vez que la repetición máxima (1-RM) en sentadilla, el salto vertical, la potencia aeróbica, la aceleración (velocidad en 36 metros) y el tiempo en un esprint de 100 metros. En este caso, la velocidad de balón y el salto vertical estuvieron fuertemente correlacionados, y se encontró una correlación moderadamente alta entre 1-RM en sentadilla y la velocidad del balón, así como entre la velocidad del balón y la aceleración. Se mostraron correlaciones moderadas entre la velocidad del balón y el sprint en 100 metros, a la vez que entre la velocidad del balón y el volumen de oxígeno máximo.

Las medidas antropométricas y el rendimiento fisiológico, incluyendo la velocidad de golpeo, podrían estar relacionadas (Wong et al., 2009). Los resultados de esta investigación incluyen correlaciones entre la velocidad de golpeo y el peso corporal, además de entre la velocidad de golpeo y el índice de masa corporal, en un grupo de jugadores sub-14. Además, está demostrado que la altura, el peso y la masa muscular incrementan con el crecimiento, influenciando el rendimiento en test físicos (Armstrong, Barker, & McManus, 2015; Armstrong & McManus, 2011; Beunen et al., 1992).

Para resumir, en consonancia con Young & Rath (2011), la limitación de datos en las correlaciones entre velocidad de golpeo y otras variables no permiten establecer una correlación causa-efecto entre medidas de fuerza y de velocidad de golpeo. Por lo tanto,



se necesita más información sobre el rol de la fuerza en la velocidad de golpeo (Young & Rath, 2011). Si hacemos referencia a los datos previos, esta afirmación debe de ser extendida a otras correlaciones entre los test de golpeo, las medidas antropométricas y la velocidad de golpeo.

El objetivo de esta investigación fue examinar las correlaciones entre la máxima velocidad de golpeo y test físicos en jugadores jóvenes. La hipótesis inicial es que la velocidad de golpeo podría estar relacionada con el rendimiento físico.

### 6.3.2. Métodos

#### *Participantes*

Un total de 98 futbolistas masculinos sub-11 con las siguientes características participaron en el estudio: años (media  $\pm$  DT) =  $10,61 \pm 0,71$ , peso (media  $\pm$  DT, kg) =  $38,35 \pm 6,87$ , altura (media  $\pm$  DT, cm) =  $144 \pm 7,75$ .

Con el objetivo de evitar diferencias significativas debido a los diferentes niveles de los jugadores (Unnithan et al., 2012), se seleccionaron jugadores de fútbol de dos clubes profesionales y de dos clubes no profesionales, que aceptaron participar voluntariamente en el estudio. Todos ellos estaban compitiendo con licencia de la Real Federación Española de Fútbol durante la temporada 2015/2016. En el momento del estudio, no se diagnosticaron lesiones y ninguno de los jugadores se encontraba en proceso de recuperación.

Todos los participantes y sus padres o tutores fueron informados previamente sobre el propósito del estudio y el tipo de pruebas realizadas. Cada uno de los jugadores y sus padres o tutores firmó un consentimiento informado siguiendo las recomendaciones de la declaración de Helsinki. El estudio fue aprobado por el comité de ética de la Universidad Pablo de Olavide.

#### *Instrumentos*

Las medidas antropométricas fueron tomadas de acuerdo con los procedimientos estandarizados (Tanner & Gore, 2000). El peso se obtuvo con un peso fiable Seca® 869 (Seca GmbH & Co, Hamburgo, Alemania) y la altura con un estadiómetro (Soehnle® 5003, China). Con estos datos, se calculó el índice de masa corporal.

Las medidas de salto se obtuvieron usando una plataforma dinamométrica Kitsler ® Quattro Jump del tipo 9290 AD (Kitsler ®, Suiza) con el software Quattro Jump versión 1.1.0.3. Las medidas de altura de salto fueron obtenidas con un test CMJ, comúnmente usado (Ostojic, Stojanovic, & Ahmetovic, 2010). El índice de fatiga de altura de salto es facilitado por la aplicación de la plataforma y ha sido utilizado en estudios previos (Centeno-Prada, Lopez, & Naranjo-Orellana, 2015) para determinar los efectos de la fatiga en el salto. Se define como la comparación entre la media de los cinco primeros saltos y la media de los últimos cinco saltos finales.

*Índice de fatiga = media (altura de los últimos cinco saltos) / media (altura de los primeros cinco saltos) \* 100.*

La máxima velocidad de golpeo ha sido una medida común en diferentes estudios que han intentado determinar la velocidad de golpeo, la cual ha sido obtenida usando una pistola radar (Ferraz, van den Tillaar, & Marques, 2012; Tomas et al., 2014). En el presente estudio, se usó un radar Stalker ATS II (Stalker®, USA), con una precisión de 0,01 segundos, un rango de velocidad de 0,27-397,86 m·s<sup>-1</sup> y la capacidad para detectar el movimiento del balón a una distancia de 152,40 metros.

El tiempo en esprint es una medida estandarizada en jugadores jóvenes de fútbol (Meylan et al., 2010). Para este estudio se seleccionaron las distancias de 15 y 30 metros, las cuales han sido utilizadas en estudios previos con jugadores jóvenes de fútbol (Unnithan et al., 2012). La velocidad fue determinada usando dos células fotoeléctricas Microgate Witty Gate (Microgate®, Italia) con un receptor Microgate Witty Timer.

Los valores de estimación del VO<sub>2máx</sub> se obtuvieron con un test progresivo de 20 metros (Ramsbottom, Brewer, & Williams, 1988), usando las tablas relacionadas con la edad propuestas por Leger (Leger, Mercier, Gadoury, & Lambert, 1988).

### *Procedimientos*

El estudio se dividió en dos sesiones con dos días de recuperación entre ellas. Los jugadores disponían de 20 minutos de recuperación entre los test para una recuperación completa. El orden en cada sesión fue el siguiente:

#### Sesión 1:

- Medidas antropométricas.

- Calentamiento específico (15 minutos).
- Test CMJ.
- Test progresivo de carrera.

Sesión 2:

- Calentamiento específico.
- Test de golpeo de balón.
- Test de esprint (15 y 30 metros).

En la primera sesión, los ejercicios de calentamiento consistieron en movilidad de la parte superior e inferior del cuerpo, desplazamientos en diferentes direcciones, ejercicios propioceptivos, estiramientos de grandes grupos musculares y ejercicios de familiarización con el balón. En la segunda sesión, se cambió la familiarización con el balón por ejercicios de esprint a diferentes intensidades.

Para las medidas de CMJ, se siguió un protocolo estandarizado (Jimenez-Reyes et al., 2014; Lopez-Segovia, Marques, van den Tillaar, & Gonzalez-Badillo, 2011). Previamente al test, todos los sujetos realizaron los suficientes saltos como para asegurar que conocían correctamente la técnica y la usaban de forma correcta. Además, se realizaron por parte de cada jugador 6 saltos continuos sobre la plataforma dinamométrica para establecer la línea base (de acuerdo con el protocolo de saltos continuos de Kistler ® Quattro jump). Cada jugador realizó tres saltos, con un periodo de recuperación de dos minutos entre saltos. Se seleccionó el mejor de los tres saltos. Tras descansar 5 minutos, se realizó el test de fatiga de 15 segundos con saltos CMJ continuos y máximos sobre la plataforma dinamométrica, para obtener el índice de fatiga.

En el test de golpeo de balón, el golpeo se ejecutó desde el punto de penalti hacia el centro de la portería tan rápido como fuera posible. Siguiendo investigaciones previas (Markovic, Dizdar, & Jaric, 2006), se les dijo a los jugadores que aunque los disparos se realizaran fuera de la portería podría ser repetidos, pero no debían de disminuir la velocidad de golpeo con el objetivo de aumentar la precisión. Los sujetos realizaron una carrera de aproximación de 4-5 metros (Juárez, de Subijana, Mallo, & Navarro, 2011), golpeando el balón con la pierna dominante. El radar fue colocado detrás de la portería

tal y como se ha descrito en estudios previos (Tomas et al., 2014). Cada jugador realizó tres disparos, con un intervalo de descanso de 30 segundos entre intentos (Markovic et al., 2006). Se seleccionó el disparo más veloz.

Los test de esprint se desarrollaron sobre 15 y 30 metros. Los jugadores se colocaron detrás de las células fotoeléctricas y seleccionaron el momento de iniciar la carrera, en línea recta. Se realizaron 3 intentos para cada distancia, con dos minutos de recuperación entre cada intento (Russell & Tooley, 2011), eligiendo el disparo más rápido.

Se ejecutó un test progresivo de carrera en 20 metros. El incremento progresivo de la velocidad de carrera fue de  $0,13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Los jugadores fueron previamente informados del protocolo de test y los evaluadores eliminaron a aquellos jugadores que no sobrepasaban las líneas finales.

#### *Análisis estadístico*

Para el análisis estadístico, se usó el software IBM SPSS Statistics 22.

Con respecto a la estadística descriptiva se calcularon la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

El nivel de confianza para las medidas se estimó en el 95% de confianza para la media.

Con el objetivo de conocer la consistencia de las medidas, se calculó el coeficiente de correlación intraclase (CCI) entre medidas repetidas. Se usó un modelo aleatorio de dos factores.

Para establecer si hubo correlaciones entre la máxima velocidad de golpeo y otras variables, se calcularon la  $r$  de Pearson y el coeficiente de determinación ( $r^2$ ), marcando la significatividad estadística en  $p < .05$ .

Se utilizó regresión lineal múltiple para determinar la contribución relativa de los diferentes test a la variable máxima velocidad de golpeo.

#### **6.3.3. Resultados**

La tabla 6.3.1 muestra los resultados en las diferentes variables del estudio, el rango de datos y el CCI.

**Tabla 6.3.1.** Análisis descriptivo de las variables estudiadas.

	<b>Media <math>\pm</math> DE*</b>	<b>Rango</b>	<b>IC (95%)<sup>£</sup></b>	<b>CCI<sup>¥</sup></b>	<b>CV<sup>§</sup></b>
<b>Edad (años)</b>	10.61 $\pm$ 0.71	10 - 12	10.47 – 10.76	-	-
<b>Pesp (kg)</b>	38.35 $\pm$ 6,87	26.2 – 55.2	36.97 – 39.72	-	-
<b>Altura (cm)</b>	144 $\pm$ 7.75	128 - 167	142 - 145	-	-
<b>Índice de masa corporal (kg·m<sup>-2</sup>)</b>	18.36 $\pm$ 2.43	14.38 – 28.57	17.87 – 18.84	-	-
<b>Velocidad máxima del balón (m/s)</b>	20.46 $\pm$ 2.48	16.67 – 25.83	19.96 – 20.96	0.932	0.051
<b>Altura de salto (cm)</b>	32.10 $\pm$ 4.35	21.7 - 42	31.23 – 32.97	0.895	0.057
<b>Índice de fatiga (%)</b>	91.18 $\pm$ 11.64	30.0 – 108.5	88.84 – 93.52	-	-
<b>Sprint en 15m (s)</b>	3.01 $\pm$ 0.20	2.65 – 3.66	2.97 – 3.05	0.898	0.021
<b>Sprint en 30 m (s)</b>	5.46 $\pm$ 0.44	4.79 – 7.01	5.37 – 5.55	0.980	0.012
<b>VO<sub>2</sub>máx (ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>)</b>	50.24 $\pm$ 4.97	23.87 – 39.12	49.24 – 51.24	-	-

\* Media  $\pm$  Desviación estándar

£ 95% Intervalo de confianza

¥ Coeficiente de correlación intraclass

§ Coeficiente de variación

La fiabilidad de los test con medidas repetidas fue determinada con el CCI, mostrando los resultados que los test fueron altamente repetibles para la máxima velocidad de golpeo (ICC = 0.932;  $n=98$ ), altura de salto (ICC = 0.895;  $n=98$ ), sprint en 15 metros (ICC = 0.989;  $n=98$ ) y esprint en 30 metros (ICC = 0.980;  $n=98$ ). El CCI en el test progresivo de carrera no pudo ser calculado porque solo se realizó una vez. Sin embargo, estudios previos han mostrado coeficientes de variación inferiores al 5% en este test (Pivarnik, Dwyer, & Lauderdale, 1996).

La tabla 6.3.2 muestra las correlaciones entre las diferentes variables del estudio.

### 6.3. Relationships between fitness test and kicking velocity in young soccer players.

**Tabla 6.3.2.** Correlación entre medidas antropométricas, medidas fisiológicas y velocidad de golpeo<sup>§</sup>.

		Ed	Peso	Altura	IMC	VO <sub>2</sub> máx	CMJ	IF	15m S	30m S	VB
<b>Ed</b>	r	1	0.347**	0.539**	0.026	0.281**	0.392**	-0.160	-0.367**	-0.440**	-0.580**
	r <sup>2</sup>	1	0.120	0.291	0.001	0.079	0.154	0.026	0.135	0.193	0.336
<b>Peso</b>	r		1	0.694**	0.801**	-0.288**	0.060	-0.061	0.118	0.103	0.311**
	r <sup>2</sup>		1	0.481	0.642	0.083	0.004	0.004	0.014	0.011	0.097
<b>Altura</b>	r			1	0.132	0.102	0.274	-0.271	-0.260**	-0.297**	0.529**
	r <sup>2</sup>			1	0.017	0.011	0.075	0.029	0.067	0.088	0.280
<b>IMC</b>	r				1	-0.480**	-0.158	0.057	0.383**	0.396**	-0.011
	r <sup>2</sup>				1	0.231	0.025	0.003	0.147	0.157	0.000
<b>VO<sub>2</sub>máx</b>	r					1	0.374**	0.046	-0.637**	-0.687**	0.476**
	r <sup>2</sup>					1	0.140	0.002	0.406	0.472	0.227
<b>CMJ</b>	r						1	-0.051	0.668**	0.685**	0.479**
	r <sup>2</sup>						1	0.003	0.446	0.469	0.230
<b>IF</b>	r							1	0.057	0.018	-0.058
	r <sup>2</sup>							1	0.003	0.000	0.003
<b>15m S</b>	r								1	0.909**	-0.554**
	r <sup>2</sup>								1	0.826	0.306
<b>30m S</b>	r									1	-0.587**
	r <sup>2</sup>									1	0.344

\*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$

<sup>§</sup> Ed= Edad (años); IMC= Índice de Masa Corporal ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ); VB: Máxima velocidad del balón (m/s); CMJ= Altura de salto en CMJ (cm); IF= Índice de fatiga de altura de salto (%); 15m S= Sprint en 15 metros (s); 30m S= Sprint en 30 metros (s); VO<sub>2</sub>max= Estimación del volumen de oxígeno máximo ( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

En referencia a las medidas antropométricas, se encontraron correlaciones significativas entre la edad y la velocidad del balón ( $r = -0.580$ ,  $p < 0.01$ ), el peso y la velocidad del balón ( $r = 0.311$ ,  $p < 0.01$ ) y entre la altura, la velocidad del balón ( $r = 0.529$ ,  $p < 0.01$ ) y sprint en 15m ( $r = -0.260$ ,  $p < 0.01$ ) en 30m ( $r = -0.297$ ,  $p < 0.01$ ). Además, el índice de masa corporal fue altamente correlacionados con el esprint en 15m ( $r = 0.383$ ,  $p < 0.01$ ), el esprint en 30m ( $r = 0.386$ ,  $p < 0.01$ ) y el volumen de oxígeno máximo ( $r = -0.480$ ,  $p < 0.01$ ). La altura fue correlacionada con el esprint 15m ( $r = -0.260$ ,  $p < 0.01$ ) y el esprint en 30m ( $r = -0.297$ ,  $p < 0.01$ ). Por último, la edad se correlacionó con la estimación del volumen de oxígeno máximo ( $r = 0.281$ ,  $p < 0.01$ ), altura en CMJ ( $r = -0.392$ ,  $p < 0.01$ ), esprint en 15m ( $r = -0.367$ ,  $p < 0.01$ ) y esprint en 30m ( $r = -0.440$ ,  $p < 0.01$ ).

Con respecto a las medidas fisiológicas, la velocidad del balón se correlacionó con la altura en CMJ ( $r = 0.479$ ,  $p < 0.01$ ), el esprint en 15m ( $r = -0.554$ ,  $p < 0.01$ ), el esprint en 30m ( $r = -0.587$ ,  $p < 0.01$ ) y la estimación del volumen de oxígeno máximo ( $r = 0.475$ ,  $p < 0.01$ ). Además, una fuerte correlación se observó entre la altura en CMJ y el esprint en 15m ( $r = 0.668$ ,  $p < 0.01$ ) y el esprint en 30m ( $r = 0.685$ ,  $p < 0.01$ ). Por último, la estimación del volumen de oxígeno máximo fue altamente correlacionada con la altura en CMJ ( $r = 0.374$ ,  $p < 0.01$ ) el esprint en 15m ( $r = -0.637$ ,  $p < 0.01$ ) y el esprint en 30m ( $r = -0.687$ ,  $p < 0.01$ ).

La tabla 6.3.3 muestra un modelo de regresión lineal entre las variables de condición física y la velocidad de golpeo.

**Tabla 6.3.3.** Predictores de condición física para la máxima velocidad de golpeo

Variables	Resumen del modelo de regresión			Coeficientes estandarizados Beta	
	$r^2$	F	Valor $p$	$\beta$	Valor $p$
<b>Sprint 15m (s)</b>				-0.060	0.767
<b>Sprint 30m (s)</b>				-0.300	0.176
<b>VO<sub>2max</sub> (ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>)</b>	0.371	13.703	0.000	0.167	0.151
<b>Altura en CMJ (cm)</b>				0.172	0.143

Se observa una asociación significativa entre el nivel físico y el rendimiento en velocidad de golpeo. No hay diferencias significativas en la contribución de cada variable a la velocidad de golpeo, tal y como se muestra en los coeficientes beta individuales.

La tabla 6.3.4 muestra la contribución relativa de las variables antropométricas en la variable máxima velocidad de golpeo.

**Tabla 6.3.4.** Predictores antropométricos para la máxima velocidad de golpeo.

Variables	Resumen del modelo de regresión			Coeficientes estandarizados Beta	
	r <sup>2</sup>	F	Valor p	β	Valor p
<b>Edad</b>				0.412	0.000**
<b>Peso (kg)</b>	0.406	21.459	0.000	-0.088	0.430
<b>Altura (cm)</b>				0.368	0.004*

Se observa una asociación significativa entre las variables antropométricas y el rendimiento en golpeo. Existe una diferencia significativa en la contribución de la altura ( $p < 0.05$ ) y la edad ( $p < 0.01$ ) a la velocidad de golpeo, como se muestra en los coeficientes beta individuales.

#### 6.3.4. Discusión

El objetivo de este estudio fue analizar la relación entre la máxima velocidad de golpeo, el nivel físico y las características antropométricas en jugadores de fútbol sub-11.

La tabla 6.3.1 muestra en detalle los resultados en las diferentes variables estudiadas. El ICC obtenido indica una alta fiabilidad en los datos. Los datos antropométricos en términos de altura (Figueiredo, Coelho e Silva, & Malina, 2011; Francioni, Figueiredo, Terribili, & Tessitore, 2015; Gravina et al., 2008; Vantinen et al., 2010), peso (Berjan Bacvarevic et al., 2012; Figueiredo et al., 2011; Gravina et al., 2008; Kapidzic, Huremovic, & Biberovic, 2014), e índice de masa corporal (Berjan Bacvarevic et al., 2012; Francioni et al., 2015; Gravina et al., 2008) son similares a los datos obtenidos en otros estudios para el mismo grupo de edad. También encontramos los mismos resultados que otros estudios para la altura en CMJ (Figueiredo et al., 2011; Francioni et al., 2015;



Gravina et al., 2008; Vanttinen et al., 2010), esprint en 15m (Francioni et al., 2015) y volumen de oxígeno máximo (Russell & Tooley, 2011). El esprint en 30m fue ligeramente inferior comparado con otro estudio (Gravina et al., 2008), probablemente debido al hecho de que solo se incluyeron futbolistas de un club profesional. Los datos reportados en términos de velocidad de balón en este estudio fueron similares a los obtenidos en otros estudios para el mismo grupo de edad (Berjan Bacvarevic et al., 2012; Kapidzic et al., 2014; Marques, Pereira, Reis, & van den Tillaar, 2013). El índice de fatiga de salto no ha sido previamente estudiado en jugadores jóvenes de fútbol.

En referencia a nuestros resultados, los cuales muestran correlaciones entre test de condición física y máxima velocidad del balón, los datos son diferentes a los obtenidos en otros estudios (García-Pinillos, Ruiz-Ariza, Navarro-Martínez, & Latorre-Román, 2014; D.J. Santos-García, López de Subijana, Mallo Sainz, & Navarro Cabello, 2010; Tomas et al., 2014). Han sido encontradas correlaciones entre la máxima velocidad del balón y esprint en 15m, esprint en 30m, altura en CMJ y  $VO_{2max}$  (Tabla 6.3.2), en la misma línea que otro estudio (Brooks et al., 2013). Además, una asociación remarcable fue encontrada entre la máxima velocidad de balón, la edad, altura y peso.

La principal justificación en los estudios que no encuentran correlaciones entre la velocidad de golpeo y otras variables de condición física es que las habilidades pertenecen a movimientos completamente independientes (Tomas et al., 2014). Sin embargo, en el presente estudio, además de las asociaciones estadísticamente significativas entre variables de condición física, se encontraron correlaciones significativas entre cada indicador de rendimiento y la velocidad máxima de golpeo de balón (Tabla 6.3.2).

Con el objetivo de detectar diferencias en la influencia de cada una de las variables estudiadas sobre la máxima velocidad del balón, se llevaron a cabo dos modelos de regresión lineal. El primer modelo incluye variables de rendimiento físico (Tabla 6.3.3). De acuerdo con los resultados obtenidos, el esprint en 30m fue la variable que más influyó en la velocidad máxima del balón. Sin embargo, la varianza de la máxima velocidad del balón explicada por esta variable (Coeficientes estandarizados beta) no muestra diferencias significativas con respecto al resto de las variables de rendimiento físico (Tabla 6.3.3).

Se debe tener en cuenta que la mayoría de los estudios publicados previamente se han realizado en un rango de 14-18 años, no encontrando ninguno de ellos correlaciones entre

la máxima velocidad de golpeo y el rendimiento en test de condición física (D. Juárez Santos-García & Navarro Valdivieso, 2004; Tomas et al., 2014). Sin embargo, un estudio llevado a cabo en jugadoras de élite (Brooks et al., 2013) informó de correlaciones entre la velocidad máxima de golpeo y un test de rendimiento similar al usado en este estudio, así como con la velocidad en esprint y la estimación del  $VO_{2\text{máx}}$ . Al mismo tiempo, podemos ver mejoras similares después de un entrenamiento específico entre la velocidad de golpeo, CMJ y tiempos en esprint (García-Pinillos et al., 2014).

En referencia a las medidas antropométricas y velocidad de golpeo, se han encontrado correlaciones significativas entre la velocidad de golpeo y la altura, además de con el peso. Sin embargo, no se encontraron correlaciones con el IMC (Tabla 6.3.2). Las correlaciones establecidas entre velocidad de golpeo, IMC ( $r = -0.011$ ) y peso corporal ( $r = 0.311$ ) son similares a otros estudios (García-Pinillos et al., 2014; Wong et al., 2009), pero no para la altura, para la que se observaron correlaciones de  $p > 0.05$  (Wong et al., 2009), mientras que en el presente estudio estas fueron de  $r = 0.529$  y  $p < 0.01$ .

Al contrario que para las variables de condición física, el modelo de regresión que incluye las variables antropométricas como variables predictivas muestra diferencias estadísticamente significativas para las diferencias individuales; la edad ( $p < 0.01$ ) y la altura ( $p < 0.05$ ) fueron las variables más determinantes de la máxima velocidad de golpeo (Tabla 6.3.4). Se ha informado de que la máxima velocidad de golpeo incrementa con la edad (Katis, Kellis, & Lees, 2015; Kellis & Katis, 2007); por lo tanto, al encontrarse los jugadores sub-11 en una edad de crecimiento, durante la cual tiene lugar un incremento de la altura, parece lógico pensar que los jugadores con más edad conseguirán mayores velocidades de golpeo, tal y como ocurre en el presente estudio, ya que son capaces de conseguir una mayor velocidad en los segmentos corporales involucrados en la acción, lo cual es un factor crítico para conseguir una mayor velocidad en el golpeo (De Witt & Hinrichs, 2012). Como consecuencia, este hecho podría explicar que la altura y, consecuentemente, la edad fueran las mejores variables predictivas de la velocidad de golpeo en el segundo modelo de regresión (Tabla 6.3.4).

Puesto que este grupo de edad no ha sido previamente estudiado y dadas las diferencias con otros estudios, se podría deducir que las correlaciones establecidas entre la máxima velocidad de golpeo y el rendimiento en test de condición física son altamente dependientes del grupo de edad estudiado.

Para evitar posibles limitaciones en este estudio, la muestra podría ser ampliada a diferentes grupos de edad y sexo, para establecer si las correlaciones encontradas son dependientes de la edad o del género. Además, el rango de variables relacionadas con los test de condición física y las medidas antropométricas podría ser ampliado.

#### 6.2.5. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que hay una asociación significativa entre la velocidad de golpeo y el sprint en 15m y en 30m, la altura en CMJ, el  $VO_{2max}$ , el peso y la altura en los jugadores sub-11 estudiados. Además, todas las medidas de condición física muestran correlaciones significativas entre ellas. Sin embargo, ninguna de las variables de condición física influyó más significativamente que otras la máxima velocidad de golpeo, excepto para el sprint en 30m, que fue la variable que más influyó en la máxima velocidad de golpeo.

Por último, haciendo referencia a las variables antropométricas, la edad, el peso y la altura influenciaron más significativamente que otras variables en la acción técnica del golpeo, de acuerdo con los modelos de regresión

#### 6.2.6. Aplicaciones prácticas

El presente estudio es novedoso debido al hecho de que ha sido el primero en establecer correlaciones entre variables fisiológicas, antropométricas y velocidad de golpeo en este grupo de edad.

La primera aplicación práctica que ofrece el estudio está relacionada con las diferencias entre el alto número de correlaciones ofrecidas comparado con otros estudios en diferentes grupos de edad. Por lo tanto, el tipo de entrenamiento es altamente dependiente de la edad, por lo que, dependiendo del grupo de edad, algunas habilidades podría influir en otras.

De acuerdo con las correlaciones significativas del estudio, mejorar las diferentes variables de condición física conllevaría una mayor velocidad de golpeo en jugadores de fútbol sub-11.

En referencia a las variables antropométricas, la altura y la edad son las variables que más influyen en la máxima velocidad de golpeo. Por lo tanto, el entrenamiento en jugadores jóvenes deberá estar orientado en aspectos técnicos más que en conseguir una mayor

velocidad de golpeo, puesto que la maduración, con un incremento de la altura, mejorará esta habilidad en pocos años.

#### 6.2.7. Referencias bibliográficas

Armstrong, N., Barker, A. R., & McManus, A. M. (2015). Muscle metabolism changes with age and maturation: How do they relate to youth sport performance? *Br J Sports Med*, 49(13), 860-864. doi: 10.1136/bjsports-2014-094491

Armstrong, N., & McManus, A. M. (2011). Physiology of elite young male athletes. *Med Sport Sci*, 56, 1-22. doi: 10.1159/000320618

BenOunis, O., BenAbderrahman, A., Chamari, K., Ajmol, A., BenBrahim, M., Hammouda, A., . . . Zouhal, H. (2013). Association of short-passing ability with athletic performances in youth soccer players. *Asian Journal of Sports Medicine*, 4(1), 41-48.

Berjan Bacvarevic, B., Pazin, N., Bozic, P. R., Mirkov, D., Kukolj, M., & Jaric, S. (2012). Evaluation of a composite test of kicking performance. *J Strength Cond Res*, 26(7), 1945-1952. doi: 10.1519/JSC.0b013e318237e79d

Beunen, G. P., Malina, R. M., Renson, R., Simons, J., Ostyn, M., & Lefevre, J. (1992). Physical activity and growth, maturation and performance: a longitudinal study. *Med Sci Sports Exerc*, 24(5), 576-585.

Bidaurreazaga-Letona, I., Lekue, J. A., Amado, M., Santos-Concejero, J., & Gil, S. M. (2015). Identifying talented young soccer players: Conditional, anthropometrical and physiological characteristics as predictors of performance. *RICYDE. Revista internacional de ciencias del deporte*, 11(39), 79-95. doi: 10.5232/ricyde2015.03906

Brooks, K. A., Clark, S. L., & Dawes, J. J. (2013). Isokinetic Strength and Performance in Collegiate Women's Soccer. *J Nov Physiother, Suppl 3*, 001. doi: 10.4172/2165-7025.s3-001

Centeno-Prada, R. A., Lopez, C., & Naranjo-Orellana, J. (2015). Jump percentile: a proposal for evaluation of high level sportsmen. *J Sports Med Phys Fitness*, 55(5), 464-470.

De Witt, J. K., & Hinrichs, R. N. (2012). Mechanical factors associated with the development of high ball velocity during an instep soccer kick. *Sports Biomech*, 11(3), 382-390. doi: 10.1080/14763141.2012.661757

Ferraz, R., van den Tillaar, R., & Marques, M. C. (2012). The effect of fatigue on kicking velocity in soccer players. *J Hum Kinet*, 35, 97-107. doi: 10.2478/v10078-012-0083-8

Figueiredo, A. J., Coelho e Silva, M. J., & Malina, R. M. (2011). Predictors of functional capacity and skill in youth soccer players. *Scand J Med Sci Sports*, 21(3), 446-454. doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.01056.x

Francioni, F. M., Figueiredo, A. J., Terribili, M., & Tessitore, A. (2015). Analysis of the intraseasonal stability of field test performances in young academy soccer players. *J Sports Sci*, 1-7. doi: 10.1080/02640414.2015.1082612

Garcia-Pinillos, F., Martinez-Amat, A., Hita-Contreras, F., Martinez-Lopez, E. J., & Latorre-Roman, P. A. (2014). Effects of a contrast training program without external load on vertical jump, kicking speed, sprint, and agility of young soccer players. *J Strength Cond Res*, 28(9), 2452-2460. doi: 10.1519/jsc.0000000000000452

García-Pinillos, F., Ruiz-Ariza, A., Navarro-Martínez, A. V., & Latorre-Román, P. A. (2014). Performance analysis using vertical jump, agility, speed and kicking speed in young soccer players: Influence of age. *Apunts Medicina de l'Esport*, 49(183), 67-73. doi: 10.1016/j.apunts.2014.05.002

Gil, S. M., Zabala-Lili, J., Bidaurreazaga-Letona, I., Aduna, B., Lekue, J. A., Santos-Concejero, J., & Granados, C. (2014). Talent identification and selection process of outfield players and goalkeepers in a professional soccer club. *Journal of Sports Sciences*, 32(20), 1931-1939. doi: 10.1080/02640414.2014.964290

Gravina, L., Gil, S. M., Ruiz, F., Zubero, J., Gil, J., & Irazusta, J. (2008). Anthropometric and physiological differences between first team and reserve soccer players aged 10-14 years at the beginning and end of the season. *J Strength Cond Res*, 22(4), 1308-1314. doi: 10.1519/JSC.0b013e31816a5c8e

Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., Cuadrado-Penafiel, V., Conceicao, F., Gonzalez-Badillo, J. J., & Morin, J. B. (2014). Effect of countermovement on power-force-velocity profile. *Eur J Appl Physiol*, 114(11), 2281-2288. doi: 10.1007/s00421-014-2947-1

Juárez, D., de Subijana, C. L., Mallo, J., & Navarro, E. (2011). Acute effects of endurance exercise on jumping and kicking performance in top-class young soccer players. *European Journal of Sport Science*, 11(3), 191-196. doi: 10.1080/17461391.2010.500335

Kapidzic, A., Huremovic, T., & Biberovic, A. (2014). Kinematic analysis of the instep kick in youth soccer players. *J Hum Kinet*, 42, 81-90. doi: 10.2478/hukin-2014-0063

Katis, A., Kellis, E., & Lees, A. (2015). Age and gender differences in kinematics of powerful instep kicks in soccer. *Sports Biomechanics*, 14(3), 287-299. doi: 10.1080/14763141.2015.1056221

Kellis, E., & Katis, A. (2007). Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *J Sports Sci Med*, 6(2), 154-165.

Lees, A., Asai, T., Andersen, T. B., Nunome, H., & Sterzing, T. (2010). The biomechanics of kicking in soccer: a review. *J Sports Sci*, 28(8), 805-817. doi: 10.1080/02640414.2010.481305

Leger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *J Sports Sci*, 6(2), 93-101. doi: 10.1080/02640418808729800

Lopez-Segovia, M., Marques, M. C., van den Tillaar, R., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2011). Relationships between vertical jump and full squat power outputs with sprint times in u21 soccer players. *J Hum Kinet*, 30, 135-144. doi: 10.2478/v10078-011-0081-2

Malina, R. M., Cumming, S. P., Kontos, A. P., Eisenmann, J. C., Ribeiro, B., & Aroso, J. (2005). Maturity-associated variation in sport-specific skills of youth soccer players aged 13-15 years. *Journal of Sports Sciences*, 23(5), 515-522. doi: 10.1080/02640410410001729928

Markovic, G., Dizdar, D., & Jaric, S. (2006). Evaluation of tests of maximum kicking performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 46(2), 215-220.

Marques, M. C., Pereira, A., Reis, I. G., & van den Tillaar, R. (2013). Does an in-Season 6-Week Combined Sprint and Jump Training Program Improve Strength-Speed Abilities and Kicking Performance in Young Soccer Players? *J Hum Kinet*, 39, 157-166. doi: 10.2478/hukin-2013-0078

Meylan, C., Cronin, J., Oliver, J., & Hughes, M. (2010). Talent identification in soccer: The role of maturity status on physical, physiological and technical characteristics. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 5(4), 571-592. doi: 10.1260/1747-9541.5.4.571

Ostojic, S. M., Stojanovic, M., & Ahmetovic, Z. (2010). [Vertical jump as a tool in assessment of muscular power and anaerobic performance]. *Med Pregl*, 63(5-6), 371-375.

Pivarnik, J. M., Dwyer, M. C., & Lauderdale, M. A. (1996). The reliability of aerobic capacity (VO<sub>2</sub>max) testing in adolescent girls. *Res Q Exerc Sport*, 67(3), 345-348. doi: 10.1080/02701367.1996.10607962

Ramsbottom, R., Brewer, J., & Williams, C. (1988). A progressive shuttle run test to estimate maximal oxygen uptake. *Br J Sports Med*, 22(4), 141-144.

Rodríguez-Lorenzo, L., Fernandez-Del-Olmo, M., & Martín-Acero, R. (2015). A critical review of the technique parameters and sample features of maximal kicking velocity in soccer. *Strength and Conditioning Journal*, 37(5), 26-39. doi: 10.1519/SSC.0000000000000172

Russell, M., & Tooley, E. (2011). Anthropometric and performance characteristics of young male soccer players competing in the UK. *Serbian journal of sports sciences.*, 4, 155-162.

Santos-García, D. J., López de Subijana, C., Mallo Sainz, J., & Navarro Cabello, E. (2010). Análisis del golpeo de balón y su relación con el salto vertical en futbolistas juveniles de alto nivel/Analysis of the soccer kick and its relationship with the vertical jump in young top class players. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 6.

Santos-García, D. J., & Navarro Valdivieso, F. (2004). Analysis speed ball in the beating in football players based measurement system, intended for precision shooting, and its relationship with other explosive action. *European Journal of Human Movement*, 15, 2386-4095.

Strauss, A., Jacobs, S., & Van Den Berg, L. (2014). The influence of anaerobic and aerobic fitness on the technical skill ability of national elite male under-18 african soccer

players. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 5(27), 1704-1711. doi: 10.5901/mjss.2014.v5n27p1704

Tanner, R. K., & Gore, C. J. (2000). *Physiological test fot elite athletes*. Champaign, IL: Human Kinetics

Tomas, M., Frantisek, Z., Lucia, M., & Jaroslav, T. (2014). Profile, correlation and structure of speed in youth elite soccer players. *J Hum Kinet*, 40, 149-159. doi: 10.2478/hukin-2014-0017

Unnithan, V., White, J., Georgiou, A., Iga, J., & Drust, B. (2012). Talent identification in youth soccer. *Journal of Sports Sciences*, 30(15), 1719-1726. doi: 10.1080/02640414.2012.731515

Vanttinen, T., Blomqvist, M., & Hakkinen, K. (2010). Development of body composition, hormone profile, physical fitness, general perceptual motor skills, soccer skills and on-the-ball performance in soccer-specific laboratory test among adolescent soccer players. *J Sports Sci Med*, 9(4), 547-556.

Wong, P. L., Chamari, K., Dellal, A., & Wisløff, U. (2009). Relationship between anthropometric and physiological characteristics in youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4), 1204-1210. doi: 10.1519/JSC.0b013e31819f1e52

Young, W. B., & Rath, D. A. (2011). Enhancing foot velocity in football kicking: the role of strength training. *J Strength Cond Res*, 25(2), 561-566. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181bf42eb

Zago, M., Piovan, A. G., Annoni, I., Ciprandi, D., Iaia, F. M., & Sforza, C. (2015). Dribbling determinants in sub-elite youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*. doi: 10.1080/02640414.2015.1057210



## 7. Conclusiones

### Conclusiones generales:

- La fatiga afecta a la máxima velocidad de golpeo en fútbol y, en menor medida, a la precisión.

### Conclusiones específicas:

- Los jugadores sub-11 de un mayor nivel competitivo muestran mejores resultados en velocidad máxima de golpeo de balón, así como en velocidad en 15 y 30 metros, altura de salto CMJ y estimación del  $VO_{2\text{máx}}$ . En cuanto a variables antropométricas, no existen diferencias significativas entre jugadores de mayor y menor nivel competitivo. En *“Características antropométricas y de rendimiento físico en futbolistas sub-11 según el nivel competitivo”*.
- La fatiga, inducida mediante saltos CMJ, provoca una disminución de la velocidad de golpeo en fútbol, aunque esta no llega a ser significativa. En *“Effects of muscle fatigue induced by countermovement jumps on efficacy parameters of instep ball kicking in soccer”*.
- En jugadores jóvenes de fútbol, existen correlaciones significativas entre la máxima velocidad de golpeo y el esprint tanto en 15 como en 30 metros, la altura en salto CMJ y el  $VO_{2\text{máx}}$ . En *“Relationships between fitness test and kicking velocity in young soccer players”*.
- La fatiga, inducida mediante un test de esprints repetidos, afecta significativamente a la velocidad máxima de golpeo en jugadoras de fútbol. En el caso de la precisión en el golpeo, aunque existe una reducción de la misma tras la aplicación del protocolo de fatiga, esta no llega a ser significativa. En *“Is fatigue induced by repeated-sprint related to kicking accuracy and velocity, in female soccer players?”* (artículo en revisión en la revista “Kinesiology”, incluido en ANEXO 2).

## 8. Aplicaciones prácticas

Las aplicaciones prácticas que se derivan de esta Tesis doctoral son:

- Futbolistas en situación de fatiga durante un partido.  
Durante el desarrollo de un encuentro, el futbolista que se encontrara en una situación de fatiga, podría ver disminuido su rendimiento en la realización del gesto técnico de golpeo, tanto para la variable velocidad de golpeo como, en menor medida, para la precisión. Por tanto, este hecho se debería tener en cuenta a la hora de realizar cambios, seleccionar lanzadores de faltas, penaltis...
- Inducción de fatiga a la hora de investigar gestos técnicos.  
En el campo de la investigación, se han utilizado diferentes tipos de protocolos para medir el efecto de la fatiga sobre diferentes gestos técnicos. Siguiendo las investigaciones realizadas, la inducción de fatiga mediante un test de esprines repetidos (RSA) parece la más acertada a la hora de conseguir una fatiga evidente y cuantificable, con similares características a la que se produce durante el juego. Además, es fácilmente repetible y reproducible por otros investigadores.
- Variables relacionadas con el nivel de fatiga.  
Al realizar un gesto máximo, como intentar conseguir la máxima velocidad de golpeo, las variables relacionadas con el decremento del rendimiento en un test de esprines repetidos parecen más acertadas que la frecuencia cardíaca o la percepción subjetiva del esfuerzo, puesto que se correlacionan en mayor medida con el decremento de la velocidad de golpeo. Sin embargo, esto no es así para la medida de la precisión en el golpeo, probablemente por no requerir de forma máxima la sollicitación muscular.
- Transferencia entre test de condición física y velocidad de golpeo.  
Existen correlaciones significativas entre la velocidad de golpeo y el salto CMJ, la estimación del  $VO_{2\text{máx}}$  el sprint en 30 metros y, sobre todo, los esprines en 15 metros. Por tanto, la mejora del resultado en cualquiera de estos test podría conllevar una mejora en la máxima velocidad de golpeo. Además, a la hora de realizar protocolos de fatiga para estudiar el efecto de la fatiga en el golpeo, aquellos que se realizaran a partir de esprines de 15 metros serían los que más afectarían a la velocidad de golpeo.
- Máxima velocidad de golpeo y crecimiento.

En jugadores jóvenes, la máxima velocidad de golpeo es muy dependiente de la altura y la edad. Por tanto, el crecimiento que conllevará una mayor altura en el niño, hará que el sujeto obtenga mayores datos de velocidad en el gesto técnico de golpeo.

## 9. Limitaciones

La principal limitación de esta tesis doctoral es el reducido tamaño muestral en alguno de los estudios, siendo más evidente en el estudio 2. En este trabajo podemos observar como existe una reducción de la velocidad de golpeo, que no llega a ser significativa. Quizás el aumento del tamaño de muestra hubiera arrojado resultados con mayor significatividad estadística. Esta limitación se debe a la dificultad para obtener sujetos/clubes de alto nivel que quieran participar en la investigación (El estudio 2 se realizó con sujetos de categoría sub-18 del Real Betis Balompié y el estudio 4 con futbolistas sub-23 del Rayo Vallecano de Madrid). Debido a la complejidad del gesto de golpeo, que parece verse afectado por el nivel de los jugadores, creemos que sería un error incrementar el tamaño de muestra con jugadores que no pertenecieran a clubes profesionales, puesto que mezclar diferentes niveles podría alterar los resultados, como queda demostrado en el estudio 1. Sin embargo, esto hace que los tamaños muestrales sean reducidos.

Las diferencias biomecánicas en el gesto de golpeo en futbolistas de diferentes características (nivel técnico, físico, competitivo, edad, género), implica la imposibilidad de hacer una generalización de los resultados a cualquier jugador de fútbol, puesto que el patrón de golpeo es diferente y se podría inferir que ello pudiera modificar la influencia de la fatiga en el golpeo.

Por último, encontramos una limitación a la hora de no realizar análisis de marcadores bioquímicos, como por ejemplo determinar determinaciones de niveles de lactato y amonio en sangre.

## 10. Futuras líneas de investigación

Tras exponer las conclusiones de esta Tesis doctoral, así como las limitaciones de la misma, creemos que las futuras líneas de investigación en el análisis de la fatiga en los factores determinantes del golpeo en fútbol podrían ser:

- El estudio del tiempo que tardan en recuperarse los valores previos a la fatiga tanto en la velocidad de golpeo como en la precisión. Encontramos un estudio que lo realiza, pero se necesitarían más investigaciones. Parece claro que, por los resultados obtenidos, la fatiga afectaría en mayor o menor medida a los factores determinantes del golpeo. Sin embargo, sería de un gran interés determinar cuánto tiempo se produce dicha reducción, ya que si un jugador consiguiera recuperar de forma rápida los valores previos a la situación de fatiga, el gesto técnico podría no verse afectado en los primeros momentos de un partido o tras un largo periodo sin realizar una acción de alta intensidad en el mismo.
- Elaborar y validar test de precisión en el golpeo basados en medir la distancia que se aleja el golpeo del objetivo y no en disparar lejos del portero. Los test validados existentes se basan en dar una mayor puntuación en las esquinas de la portería, donde se supone que en una situación de juego el portero tiene más dificultad en alcanzar. Sin embargo, nos podemos encontrar con la problemática de que, si el disparo del jugador se desvía uno pocos centímetros fuera de la portería obtuviera una puntuación de cero puntos y, sin embargo, si se desviara los mismos centímetros hacia dentro siguiera obteniendo una puntuación elevada. Por tanto, nos deberíamos preguntar si este tipo de test están midiendo realmente lo que quieren medir, que sería la distancia que se aleja el disparo del objetivo. Creemos que sería más acertado proponer test en forma de diana en el que tanto si el disparo se aleja por un lado como por otro, el jugador obtuviera la misma puntuación. Aunque ya existen test de este tipo, son poco rigurosos metodológicamente.
- Estudiar el efecto de la fatiga en el golpeo en diferentes grupos de género y edad. Debido a las diferencias biomecánicas que se producen en el golpeo en función de la muestra, creemos interesante estudiar cómo afecta la fatiga en función de la edad de los sujetos y el género. Evidentemente, para el desarrollo de esta Tesis doctoral ha sido imposible estudiar todos los grupos de futbolistas existentes, a pesar de que se han obtenido datos de grupos que permanecían sin investigar en

la literatura científica como son jugadoras semi-profesionales de fútbol. Sin embargo, cuantos más grupos se estudien, mayores generalizaciones podemos hacer en la influencia de la fatiga en el gesto técnico de golpeo.

- Estudiar las correlaciones entre la velocidad de golpeo y test físicos en diferentes grupos de edad. En el estudio 3 de la presente Tesis Doctoral se incluyen jugadores sub-11 para determinar dichas correlaciones. En estudios realizados en otros grupos de edad se obtienen resultados diferentes. Bien es cierto que existen diversidad de protocolos de medición, de test físicos, de nivel de los grupos... entre las diferentes investigaciones. Sin embargo, podría darse la problemática de que las correlaciones entre habilidades técnicas y test de condición física pudieran modificarse con la edad. Por tanto, para determinar esta circunstancia, sería interesante el estudio de las correlaciones entre la velocidad de golpeo y los test de condición física en los diferentes grupos de edad.

## ANEXO 1. Publicaciones científicas derivadas de la Tesis doctoral

En este apartado se incluyen los archivos originales de las diferentes investigaciones que se han realizado durante esta Tesis doctoral.

## Características antropométricas y de rendimiento físico en futbolistas sub-11 según el nivel competitivo

### Anthropometric and fitness performance characteristics in under-11 football players by competitive level

Víctor Torreblanca-Martínez, Alejandro Arráez, Fernando M. Otero-Saborido, José A. González-Jurado  
Universidad Pablo de Olavide (España)

**Resumen.** Objetivo: Estudiar las diferencias en características antropométricas y de rendimiento físico en jugadores de diferente nivel competitivo. Métodos: 86 jugadores de fútbol sub-11 de diferente nivel competitivo fueron sometidos a pruebas de velocidad (15 y 30 metros), salto con contramovimiento (CMJ), estimación del volumen de oxígeno máximo ( $VO_{2max}$ ), velocidad máxima de golpeo, índice de fatiga en test de saltos continuos y medidas antropométricas de peso, altura e índice de masa corporal (IMC). Resultados: Los jugadores de un mayor nivel competitivo obtuvieron mejores resultados en velocidad en 15 ( $p = .000$ ;  $d = 1.06$ ) y 30 metros ( $p = .000$ ;  $d = 1.12$ ), salto CMJ ( $p = .017$ ;  $d = .52$ ),  $VO_{2max}$  ( $p = .004$ ;  $d = .63$ ) y velocidad de golpeo de balón ( $p = .041$ ;  $d = .44$ ), pero no en el índice de fatiga del test de saltos continuos ( $p = .663$ ;  $d = .08$ ). A su vez, tampoco se encontraron diferencias significativas en el peso ( $p = .938$ ;  $d = .01$ ), la altura ( $p = .115$ ;  $d = .34$ ) y el índice de masa corporal ( $p = .471$ ;  $d = .28$ ). Conclusiones: Este estudio muestra las diferencias de rendimiento físico y en medidas antropométricas analizadas en jugadores de fútbol sub-11 de diferente nivel competitivo, las cuales no han sido previamente estudiadas dentro de la literatura científica en este grupo de edad. Los jugadores de mayor nivel competitivo obtienen mejores resultados en los tests de rendimiento físico, excepto en el índice de fatiga de altura de salto. Sin embargo, las características antropométricas no permiten discernir entre ambos grupos.

**Palabras clave:** Rendimiento; test; desarrollo; atleta joven; talento.

**Abstract.** Purpose: To study the differences in anthropometric and fitness performance characteristics in football players of different competitive level. Methods: 86 under-11 football players of different competitive level were subjected to sprint test (15 and 30 meters), countermovement Jump (CMJ), estimation of maximal oxygen intake ( $VO_{2max}$ ), maximal kicking velocity, fatigue index in continuous jump test and anthropometrical measures of body mass, height and body mass index (BMI). Results: Players of a higher competitive level obtained better results in 15 ( $p = .000$ ;  $d = 1.06$ ) and 30 meters ( $p = .000$ ;  $d = 1.12$ ), CMJ ( $p = .017$ ;  $d = .52$ ),  $VO_{2max}$  ( $p = .004$ ;  $d = .63$ ) and maximal kicking velocity ( $p = .041$ ;  $d = .44$ ), but not in fatigue index in continuous jump test ( $p = .663$ ;  $d = .08$ ). Likewise, no significant differences were found in body mass ( $p = .938$ ;  $d = .01$ ), height ( $p = .115$ ;  $d = .34$ ) and body mass index ( $p = .471$ ;  $d = .28$ ). Conclusions: This study shows the differences in fitness performance and anthropometric measures in under-11 football players of different competitive level, which have not been previously reported in this group of age. Players of higher competitive level obtained better result in fitness performance test, except in the fatigue index of jump height. However, anthropometric characteristics do not allow to distinguish between both groups.

**Key words:** Performance; test; development; young athlete; talent.

### Introducción

La identificación del talento en jugadores jóvenes de fútbol ha sido abordada desde diferentes perspectivas (Reilly, Williams, Nevill, & Franks, 2000), con una visión más holística durante los últimos años (Unnithan, White, Georgiou, Iga, & Drust, 2012a). De esta forma, podemos ver cómo, en jugadores jóvenes de fútbol, se han analizado las características técnicas, tácticas, fisiológicas, sociológicas, perceptuales, cognitivas y de personalidad (Unnithan, White, Georgiou, Iga, & Drust, 2012b) que determinan en un futuro la pertenencia o no al denominado fútbol de élite.

Las diferencias físicas y antropométricas en un determinado momento de la formación del jugador podrían determinar el nivel competitivo que alcance en un futuro (Figueiredo, Goncalves, Coelho, & Malina, 2009; le Gall, Carling, Williams, & Reilly, 2010). Por tanto, determinar los factores que diferencian entre jugadores de fútbol de diferente nivel competitivo en una determinada edad, ha sido el objeto de estudio de varias investigaciones en categorías inferiores (Coelho et al., 2010; Gissis et al., 2006; Reilly et al., 2000; Vaeyens et al., 2006).

Así, se ha determinado (Coelho et al., 2010) como en jugadores sub 14, los futbolistas pertenecientes al grupo «élite» son más altos y pesados, alcanzan un mayor rendimiento en test de esprint repetidos (RSA), una menor velocidad en esprint de 30 metros y alcanzan una mayor altura en salto.

Otros autores (Vaeyens et al., 2006), coinciden al encontrar diferencias significativas en el rendimiento en salto vertical entre los grupos «élite» y «sub élite» frente al «no élite» en la categoría sub 13 y sub 14, añadiendo diferencias significativas en las pruebas de la batería EUROFIT relacionadas con la velocidad, la fuerza, la potencia, la resistencia y la flexibilidad. Sin embargo, las variables antropométricas de altura y peso no presentan diferencias significativas.

Vaeyens (Vaeyens et al., 2006) añade futbolistas U15 y U16 en su estudio. En ambas edades encontramos diferencias significativas en el rendimiento en salto vertical en los grupos «élite» y «sub élite» frente a los «no élite», así como diferencias significativas en el rendimiento en resistencia y velocidad entre todos los grupos. Dentro de este grupo de edad, otros estudios (Reilly et al., 2000), confirman las diferencias del rendimiento en velocidad, salto vertical y resistencia entre futbolistas de diferentes nivel competitivo, incluyendo una ligera diferencia en la altura de los sujetos. En un grupo con una media de edad de 16 años en el que se analizaron características de fuerza y velocidad (Gissis et al., 2006), también se hicieron patentes las diferencias en salto vertical y velocidad entre futbolistas del grupo «élite» y «sub élite».

Siguiendo los estudios que analizan las características antropométricas y de rendimiento físico en diferentes edades de jugadores jóvenes de fútbol en función de su nivel competitivo, así como la ausencia de los mismos en la categoría sub-11, el propósito de este estudio es determinar las diferencias antropométricas y en el rendimiento físico en jugadores de fútbol sub-11 en función del nivel competitivo.

### Material y método

#### Participantes

Un total de 86 jugadores sub 11 con las siguientes características participaron en la investigación: rango de edad (años) = 10-12, peso (Media  $\pm$  DT, kg) = 37.55  $\pm$  6.55, altura (Media  $\pm$  DT, cm) = 143.02  $\pm$  6.84.

Los participantes pertenecían a cuatro clubes diferentes, dos profesionales, cuyo primer equipo participa durante la temporada 2015/2016 en la primera división española de fútbol, así como dos clubes no profesionales. Todos los jugadores tenían licencia federativa en vigor durante la temporada 2015/2016, compitiendo en las diferentes categorías de la Federación Española de Fútbol. Siguiendo el criterio de investigaciones anteriores, se clasificó como grupo «élite» a aquellos jugadores que pertenecían a un club profesional y como «no élite» a aquellos que no pertenecían a un club profesional (Reilly et al., 2000; Vaeyens et al., 2006). Durante el estudio no se diagnosticaron lesiones ni ningún futbolista se encontraba en proceso de recuperación.



Todos los participantes y padres o tutores fueron informados previamente del propósito del estudio. Cada uno de los participantes y padres o tutores dio su consentimiento firmado siguiendo las recomendaciones de la declaración de Helsinki. Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Pablo de Olavide.

### **Instrumentos**

Las medidas antropométricas se realizaron de acuerdo a los procedimientos estandarizados (Tanner & Gore, 2000). El peso corporal se midió con una báscula Seca® 869 (Seca GmbH & Co, Hamburgo, Alemania) con una precisión menor al  $\pm 0,15\%$  y la talla con un estadiómetro (Soehnle® 5003, China) con una precisión menor a 1 centímetro. A partir de ellos, se calculó el Índice de Masa Corporal.

Las medidas de salto fueron obtenidas usando una plataforma dinamométrica Kistler® Quattro Jump tipo 9290 AD (Kistler®, Suiza) con una frecuencia de 500 datos por segundos, usando el software Quattro Jump 1.1.0.3. La altura del salto se obtuvo a partir de un test CMJ, comúnmente usado (Ostojic, Stojanovic, & Ahmetovic, 2010) mediante el método de la doble integración utilizado por esta plataforma dinamométrica. El índice de fatiga para la altura de salto ha sido utilizado en estudios previos (Centeno-Prada, Lopez, & Naranjo-Orellana, 2015), determinando dichos autores dos fórmulas diferentes para calcularlo, en función de si la intensidad es mayor o menor al 95%. Se considera que la intensidad es máxima si la relación entre los 3 primeros saltos y la del mayor salto CMJ es mayor al 95% durante un test de 15 segundos de saltos continuos, utilizando en este caso la fórmula:

*Índice de fatiga = altura media de los saltos realizados durante el test / altura máxima alcanzada en salto CMJ \* 100%*

En el caso de que la intensidad del sujeto durante el test de 15 segundos sea menor al 95%, se utiliza la fórmula:

*Índice de fatiga = media (altura de los 3 últimos saltos) / media (altura de los 3 primeros saltos) \* 100%*

La máxima velocidad de golpeo es una medida común en estudios que han analizado la velocidad de golpeo, obteniendo dicha medida con una pistola radar (Ferraz, van den Tillaar, & Marques, 2012; Tomas, Frantisek, Lucia, & Jaroslav, 2014). En esta investigación se usó un radar Stalker ATS II (Stalker®, USA), con un tiempo de precisión de 0,01 segundos, un rango de velocidad de 1-1432,3 km/h y la capacidad para detectar el movimiento del balón a una distancia de 152,40 metros.

Los test de velocidad es una de las medidas más extendidas en jugadores de fútbol (Meylan, Cronin, Oliver, & Hughes, 2010). Se seleccionó la distancia de 15 y 30 metros, la cual fue usada en estudios previos con jugadores jóvenes de fútbol (Unnithan et al., 2012a). Para medir la velocidad lineal del jugador se usaron dos células fotoeléctricas Microgate Witty Gate (Microgate®, Italia), con un receptor Microgate Witty Timer.

La estimación de los valores  $VO_{2max}$  del sujeto se realizaron usando un test progresivo de 20 metros (Ramsbottom, Brewer, & Williams, 1988), y utilizando las tablas de edad propuestas por Leger (Leger, Mercier, Gadoury, & Lambert, 1988).

### **Procedimientos**

La investigación se llevó a cabo durante dos sesiones. El orden dentro de cada sesión fue el siguiente:

#### **Sesión 1:**

- Medidas antropométricas.
- Calentamiento específico (15 minutos).
- Test CMJ.
- Test progresivo de 20 metros.

#### **Sesión 2:**

- Calentamiento específico (15 minutos).
- Test de golpeo de balón.
- Test de velocidad (15 y 30 metros).

En la primera sesión, los ejercicios de calentamiento consistieron en movilidad articular del tren superior e inferior, desplazamientos en diferentes direcciones, ejercicios propioceptivos, estiramientos de los principales grupos musculares y ejercicios de sprint a diferentes intensida-

des. Durante la segunda sesión, los ejercicios de sprint se sustituyeron por ejercicios de familiarización con el balón.

Para las medidas de CMJ se siguió el protocolo de salto propuesto por Bosco (Bosco, 1994). Previamente al test, los sujetos realizaron suficientes saltos para asegurar que conocían la técnica correcta y la usaban correctamente. Además, cada jugador realizó 6 saltos continuos sobre la plataforma dinamométrica para establecer la línea base (de acuerdo con el protocolo de saltos continuos de Kistler® *Quattro jump*). Cada jugador realizó 3 saltos, considerados como correctos por los investigadores, con un tiempo de recuperación de 2 minutos entre saltos. Se seleccionó el mejor de los tres saltos. Tras 5 minutos de descanso, se realizó el test de fatiga de 15 segundos con saltos continuos y máximos sobre la plataforma dinamométrica, para obtener el índice de fatiga.

En el test de golpeo de balón, el golpeo fue ejecutado desde el punto de penalti y los participantes usaron una carrera de aproximación al balón de 4 a 5 metros, golpeando el mismo con la pierna dominante (Juárez, de Subijana, Mallo, & Navarro, 2011). Cada jugador ejecutó 3 intentos, con un intervalo de descanso entre cada intento de 30 segundos (Markovic, Dizdar, & Jaric, 2006), seleccionando el disparo más veloz.

Los test de velocidad se realizaron sobre 15 y 30 metros. Los jugadores se colocaron detrás de la célula fotoeléctrica de inicio y eligieron el momento de empezar la carrera en línea recta. Cada jugador realizó 3 intentos para cada una de las distancias, con un tiempo de recuperación de 2 minutos entre cada intento (Russell & Tooley, 2011). Se seleccionó la carrera más rápida.

Se ejecutó un test de carrera progresivo de 20 metros, el Course-Navette (Leger et al., 1988). El incremento en la carrera fue de .5 km/h por minuto. Los jugadores fueron informados previamente del protocolo y los evaluadores eliminaron a todos los jugadores que no fueron capaces de superar las líneas en cada una de las fases del test.

Variables de estudio:

- 1) Peso.
- 2) Altura.
- 3) Índice de Masa Corporal.
- 4) Velocidad máxima del balón.
- 5) Altura máxima de salto en CMJ.
- 6) Índice de fatiga de altura de saltos, en test de 15 segundos.
- 7) Velocidad en test de 15 metros.
- 8) Velocidad en test de 30 metros.
- 9) Estimación del  $VO_{2max}$ .

### **Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico, se usó el software IBM SPSS Statistics 22.

En cuanto a estadísticos descriptivos, se calcularon la media, la desviación típica (DT) y el coeficiente de variación (CV).

El nivel de confianza de las medidas se estimó al 95% del intervalo de confianza para la media.

Con el objetivo de conocer la consistencia de las medidas entre los diferentes golpeos, saltos y carreras se calculó el coeficiente de correlación intraclase (CCI).

Con respecto a la estadística inferencial, se llevó a cabo la prueba t-Student o prueba U de Mann-Whitney en función de la normalidad, calculada mediante el test de Kolmogorov-Smirnov y la homocedasticidad según prueba de Levene. El nivel de significación se determinó en  $p < 0.05$ .

Además, se calculó el tamaño del efecto (Cohen, 1988), considerando los valores  $d < .41$  como pequeños, entre .41 y .70 como moderados y de  $d > .70$  como grandes.

### **Resultados**

La tabla 1 muestra los resultados obtenidos en las diferentes variables del estudio, el rango de los datos y el CCI.

La fiabilidad de los test con medidas repetidas se calculó mediante

Tabla 1.

Análisis descriptivo de las variables estudiadas.

	Media $\pm$ DT <sup>a</sup>	Rango	IC (95%) <sup>b</sup>	CCI <sup>c</sup>	CV <sup>d</sup>
Peso (kg)	37.55 $\pm$ 6.55	26.20 - 55.2	36.14 - 38.95		
Altura (cm)	143.02 $\pm$ 6.84	128 - 159	141.55 - 144.49		
Índice de Masa Corporal (kg·m <sup>-2</sup> )	18.29 $\pm$ 2.50	14.39 - 28.57	17.75 - 18.83		
Velocidad máxima del balón (m/s)	19.98 $\pm$ 2.21	13.67 - 25.56	19.51 - 20.46	.908	.054
Altura de salto (cm)	31.56 $\pm$ 4.28	21.7 - 42	30.65 - 32.48	.887	.058
Índice de fatiga (%)	88.93 $\pm$ 10.90	61.40 - 148.20	86.59 - 91.27		
Velocidad 15-m (s)	3.03 $\pm$ 0.20	2.65 - 3.66	2.99 - 3.08	.898	.022
Velocidad 30-m (s)	5.51 $\pm$ 0.45	4.79 - 7.01	5.42 - 5.61	.980	.013
VO <sub>2máx</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	49.78 $\pm$ 5.08	39.12 - 62.99	48.69 - 50.87		

<sup>a</sup> Media  $\pm$  Desviación típica.<sup>b</sup> 95% intervalo de confianza.<sup>c</sup> Coeficiente de correlación intraclass.<sup>d</sup> Coeficiente de variación.

Tabla 2.

Comparación de los resultados entre grupos «élite» y «no élite».

	«Élite»		«No élite»		p	d <sup>b</sup>
	Media $\pm$ DT <sup>a</sup>	IC (95%) <sup>b</sup>	Media $\pm$ DT <sup>a</sup>	IC (95%) <sup>b</sup>		
Peso (kg)	37.49 $\pm$ 6.19	35.56 - 39.42	37.60 $\pm$ 6.94	35.49 - 39.71	0.938 <sup>c</sup>	0.01
Altura (cm)	144.21 $\pm$ 6.24	142.26 - 146.16	141.88 $\pm$ 7.25	139.68 - 144.09	0.115 <sup>c</sup>	0.34
Índice de Masa Corporal (kg·m <sup>-2</sup> )	17.93 $\pm$ 1.90	17.33 - 18.52	18.64 $\pm$ 2.95	17.74 - 19.53	0.471 <sup>c</sup>	0.28
Velocidad máxima del balón (m/s)	20.48 $\pm$ 2.06	19.83 - 21.12	19.51 $\pm$ 2.27	18.82 - 20.20	0.041 <sup>d</sup>	0.52
Altura de salto (cm)	32.68 $\pm$ 4.60	31.24 - 34.11	30.50 $\pm$ 3.69	29.38 - 31.62	0.017 <sup>d</sup>	0.44
Índice de fatiga (%)	89.46 $\pm$ 9.94	85.80 - 95.19	88.43 $\pm$ 11.85	84.78 - 94.14	0.663 <sup>e</sup>	0.08
Velocidad 15-m (s)	2.93 $\pm$ 0.14	2.89 - 2.98	3.12 $\pm$ 0.21	3.06 - 3.19	0.000 <sup>e</sup>	1.06
Velocidad 30-m (s)	5.29 $\pm$ 0.30	5.19 - 5.39	5.73 $\pm$ 0.46	5.59 - 5.87	0.000 <sup>e</sup>	1.12
VO <sub>2máx</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	51.36 $\pm$ 4.50	49.95 - 52.76	48.27 $\pm$ 5.19	46.69 - 49.85	0.004 <sup>f</sup>	0.63

<sup>a</sup> Media  $\pm$  Desviación típica.<sup>b</sup> 95% intervalo de confianza.<sup>c</sup> Prueba t según normalidad y homocedasticidad.<sup>d</sup> Prueba U según normalidad y homocedasticidad.<sup>e</sup> Tamaño del efecto.

el CCI, mostrando los resultados una alta repetibilidad para la máxima velocidad de golpeo (CCI = .908;  $n = 86$ ), altura de salto (CCI = .887;  $n = 86$ ), velocidad en 15 metros (CCI = .898;  $n = 86$ ) y velocidad en 30 metros (CCI = .980;  $n = 86$ ). La fiabilidad del test de carrera en 20 metros no se pudo calcular puesto que solo se ejecutó una vez. Sin embargo, estudios previos muestran coeficientes de variación menores al 5% en este test (Pivarnik, Dwyer, & Lauderdale, 1996)

La tabla 2 muestra la comparativa de medias entre el grupo «élite» y «no élite».

En referencia a las medidas antropométricas no se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos en ninguna de las tres variables con tamaños del efecto pequeños tanto para el peso ( $p = .938$ ;  $d = .01$ ), la altura ( $p = .115$ ;  $d = .34$ ) así como para el índice de masa corporal ( $p = .471$ ;  $d = .28$ ).

Sin embargo, en lo referente a test de condición física podemos encontrar diferencias muy significativas ( $p < .01$ ) con tamaños del efecto considerando como grandes tanto para la velocidad en 15 metros ( $p = .000$ ;  $d = 1.06$ ), como para la velocidad en 30 metros ( $p = 0.000$ ;  $d = 1.12$ ) y con un tamaño del efecto moderado para el VO<sub>2máx</sub> ( $p = .004$ ;  $d = .63$ ). A su vez, encontramos diferencias estadísticamente significativas ( $p < .05$ ) con tamaños del efecto moderados tanto en la altura de salto ( $p = .017$ ;  $d = .52$ ) como en la velocidad máxima de balón ( $p = .041$ ;  $d = .44$ ). Por último, el índice de fatiga de salto no muestra diferencias estadísticamente significativas, con un tamaño del efecto pequeño ( $p = .663$ ;  $d = .08$ ).

## Discusión

El objetivo de este estudio fue determinar las diferencias antropométricas y de rendimiento físico en jugadores sub-11 en función del nivel competitivo.

En la tabla 1 se realiza un análisis descriptivo de las variables estudiadas. El CCI obtenido indica la alta fiabilidad de los datos en medidas repetidas. Los datos de antropometría en términos de peso (Berjan Bacvarevic et al., 2012; Figueiredo, Coelho e Silva, & Malina, 2011; Gravina et al., 2008; Kapidzic, Huremovic, & Biberovic, 2014), altura (Figueiredo et al., 2011; Francioni, Figueiredo, Terribili, & Tessitore, 2015; Gravina et al., 2008; Kapidzic et al., 2014) e IMC (Berjan Bacvarevic et al., 2012; Francioni et al., 2015; Gravina et al., 2008) son similares a los reflejados en otros estudios en el mismo grupo de edad. En cuanto a parámetros de condición física, encontramos estudios con

datos similares en altura en salto CMJ (Figueiredo et al., 2011; Gravina et al., 2008; Vantinen, Blomqvist, & Hakkinen, 2010), velocidad en 15 metros (Francioni et al., 2015) y VO<sub>2máx</sub> (Russell & Tooley, 2011). La velocidad en 30 metros fue ligeramente inferior comparada con otro estudio (Gravina et al., 2008), probablemente por el hecho de que la muestra solo estaba compuesta por jugadores de un club profesional. La velocidad de golpeo no ha sido estudiada en este grupo de edad, pero los datos obtenidos son ligeramente inferiores a los obtenidos en edades entre 12 y 13 años (Berjan Bacvarevic et al., 2012; Kapidzic et al., 2014; Marques, Pereira, Reis, & van den Tillaar, 2013). El índice de fatiga de altura de salto no ha sido previamente estudiado en jugadores jóvenes de fútbol.

En cuanto a la comparativa de ambos grupos en variables antropométricas, podemos observar como no se encuentran diferencias significativas entre ellos para ninguna de las variables analizadas (Tabla 2). Estos datos son similares a los obtenidos en estudios con jugadores U13, U14, U15 y U16 (Vaeyens et al., 2006) y jugadores de entre 15 y 16 años (Reilly et al., 2000), excepto para la variable altura. Sin embargo, los datos de este estudio difieren de los reportados por otras investigaciones en futbolistas U14 (Coelho et al., 2010).

En la línea de otras investigaciones, podemos afirmar que las variables de carácter antropométrico discriminan menos entre futbolistas de diferente nivel competitivo que las relacionadas con test físicos o variables fisiológicas (Reilly et al., 2000; Vaeyens et al., 2006). Las excepciones que encontramos relacionadas con la altura y, en un caso (Coelho et al., 2010), con el peso, podrían venir derivadas de los diferentes niveles madurativos dentro de la misma edad, aspecto que ha sido bien documentado en estudios previos (Coelho et al., 2010). Además, en referencia a la altura, podemos observar que, aunque no se llega a alcanzar niveles significativos ( $p = .115$ ), existe una diferencia de más de 3 centímetros en favor del grupo «élite». Si observamos los resultados de otros estudios, podemos ver cómo estas diferencias se igualan en edades U13 (Vaeyens et al., 2006), y que son mayores en favor del grupo no élite en edades U14, U15 y U16 (Reilly et al., 2000; Vaeyens et al., 2006). Analizando los resultados de los diferentes estudios, parece evidente que la variable altura no se podría comparar entre grupos de diferente edad, puesto que, en función de la misma, los resultados tienden a ser favorables al grupo élite en edades tempranas y, sin embargo, pasan a ser favorables a los grupos «no élite» en edades superiores. Por tanto, al no tener referencia de estudios en jugadores U11, no podríamos comparar nuestros resultados con los obtenidos en otros estudios para dicha variable.

En relación a las variables de rendimiento en test de condición física (Tabla 2) podemos ver que existen valores inferiores a  $p < .01$  en las variables relacionadas con la velocidad, con tamaños del efecto grandes tanto en 15 ( $d = .06$ ) como en 30 metros ( $d = .12$ ), así como para el VO<sub>2máx</sub> ( $d = .63$ ), siendo en este caso el tamaño del efecto moderado. A su vez, se reportan valores inferiores a  $p < .05$  y tamaños del efecto considerados como moderados tanto en la altura de la salto ( $d = .52$ ) como en la velocidad de golpeo de balón ( $d = .44$ ). En cuanto al índice de fatiga de altura de salto, no presenta diferencias significativas entre ambos grupos, con un tamaño del efecto considerado como pequeño ( $d = .08$ ).

Los resultados en velocidad en las dos distancias establecidas están en consonancia con los resultados obtenidos en otros estudios (Coelho et al., 2010; Gissis et al., 2006; Reilly et al., 2000; Vaeyens et al., 2006). Parece por tanto, que la velocidad es una variable que nos permite discriminar entre jugadores de diferente nivel competitivo en diferentes edades, siendo en jugadores sub-11 la variable con mayor nivel de significación ( $p = .000$ ) de las estudiadas, obteniendo para ambas distancias un tamaño del efecto grande. Este hecho queda reforzado porque la velocidad sea también la variable más influyente en los procesos de selección de jóvenes futbolistas en esta edad (Gravina et al., 2008).

Encontramos también valores inferiores a  $p < .01$ , con tamaños del efecto moderados en la estimación del VO<sub>2máx</sub>, al igual que en otros estudios (Coelho et al., 2010; Vaeyens et al., 2006). Este resultado, sin embargo, difiere del rendimiento aeróbico del estudio de Coelho (Coelho

et al., 2010), en el que, aunque se obtienen mayores distancias en el test YOYO por parte del grupo élite, estas no resultan significativas. A tenor de los resultados, podemos determinar que la estimación del  $VO_{2\max}$  discrimina, como en la mayoría de los estudios en jóvenes jugadores de fútbol, entre diferentes niveles competitivos en jugadores sub-11.

Con respecto a la altura de salto, se reportan tamaños del efecto moderados, con valores de  $p < .05$  entre el grupo «élite» y «no élite». Los resultados en esta variable son por tanto similares a otros estudios (Coelho et al., 2010; Gissis et al., 2006; Reilly et al., 2000; Vaeyens et al., 2006), excepto para un grupo de jugadores U13 (Vaeyens et al., 2006), diferencia que podría ser debida a patrones coordinativos del movimiento en los diferentes grupos de edad (Gissis et al., 2006). Parece por tanto que la altura de salto CMJ permite discriminar entre jugadores jóvenes de fútbol de diferente nivel competitivo.

Por último, hacer referencia tanto a la velocidad máxima de golpeo de balón como al índice de fatiga en altura de salto, variables que no han sido previamente estudiadas para comparar diferentes niveles competitivos en jugadores jóvenes de fútbol. En el primer caso obtenemos tamaños del efecto moderados con valores de  $p < .05$ , obteniendo el grupo «élite» velocidades de balón más elevadas que el grupo «no élite» en esta habilidad. En el caso del índice de fatiga de altura de salto, las diferencias que obtenemos entre ambos grupos no resultan significativas ( $p = .663$ ).

Para evitar posibles limitaciones del estudio, la muestra se podría ampliar a grupos de diferentes edades y género, de forma que se pudiera estudiar si las diferencias entre ambos grupos podrían hacerse extensibles a otros grupos de jóvenes jugadores de fútbol. A su vez, el rango de variables relacionadas con test físicos y factores antropométricos podrían aumentarse.

Como futuras líneas de investigación relacionadas con este estudio, se propone el anteriormente citado aumento de la muestra a diferentes grupos de edad y género.

## Conclusión

Los resultados obtenidos muestran que los jugadores sub-11 de un mayor nivel competitivo obtienen mejores resultados en velocidad en 15 y 30 metros, altura de salto CMJ, estimación del  $VO_{2\max}$  y velocidad máxima de golpeo de balón, pero no en el índice de fatiga de salto vertical.

Haciendo referencia a las variables antropométricas, no existen diferencias significativas entre los diferentes grupos de nivel competitivo en peso, altura e índice de masa corporal.

A nivel de aplicaciones prácticas, los resultados obtenidos en este estudio muestran como las variables antropométricas no serían un criterio adecuado para la selección de talentos en función de su nivel competitivo. Sin embargo, las variables relacionadas con parámetros físicos, especialmente los test relacionados con la velocidad, si nos permitirían discernir entre futbolistas de mayor y menor nivel competitivo.

## Referencias

Berjan Bacvarevic, B., Pazin, N., Bozic, P. R., Mirkov, D., Kukolj, M., & Jaric, S. (2012). Evaluation of a composite test of kicking performance. *J Strength Cond Res*, 26(7), 1945-1952. doi: 10.1519/JSC.0b013e318237e79d

Bosco, C. (1994). *La valoración de la fuerza con el test de Bosco. Colección deporte y entrenamiento*. Barcelona: Editorial Paidotribo.

Centeno-Prada, R. A., Lopez, C., & Naranjo-Orellana, J. (2015). Jump percentile: a proposal for evaluation of high level sportsmen. *J Sports Med Phys Fitness*, 55(5), 464-470.

Coelho, E. S. M. J., Figueiredo, A. J., Simoes, F., Seabra, A., Natal, A., Vaeyens, R., ... Malina, R. M. (2010). Discrimination of u-14 soccer players by level and position. *Int J Sports Med*, 31(11), 790-796. doi: 10.1055/s-0030-1263139

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates.

Ferraz, R., van den Tillaar, R., & Marques, M. C. (2012). The effect of fatigue on kicking velocity in soccer players. *J Hum Kinet*, 35, 97-107. doi: 10.2478/v10078-012-0083-8

Figueiredo, A. J., Coelho e Silva, M. J., & Malina, R. M. (2011). Predictors of functional capacity and skill in youth soccer players. *Scand J Med Sci Sports*, 21(3), 446-454. doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.01056.x

Figueiredo, A. J., Goncalves, C. E., Coelho, E. S. M. J., & Malina, R. M. (2009). Characteristics of youth soccer players who drop out, persist or move up. *J Sports Sci*, 27(9), 883-891. doi: 10.1080/02640410902946469

Francioni, F. M., Figueiredo, A. J., Terribili, M., & Tessitore, A. (2015). Analysis of the intraseasonal stability of field test performances in young academy soccer players. *J Sports Sci*, 1-7. doi: 10.1080/02640414.2015.1082612

Gissis, I., Papadopoulos, C., Kalapotharakos, V. I., Sotiropoulos, A., Komsis, G., & Manolopoulos, E. (2006). Strength and speed characteristics of elite, subelite, and recreational young soccer players. *Res Sports Med*, 14(3), 205-214. doi: 10.1080/15438620600854769

Gravina, L., Gil, S. M., Ruiz, F., Zubero, J., Gil, J., & Irazusta, J. (2008). Anthropometric and physiological differences between first team and reserve soccer players aged 10-14 years at the beginning and end of the season. *J Strength Cond Res*, 22(4), 1308-1314. doi: 10.1519/JSC.0b013e31816a5c8e

Juárez, D., de Subijana, C. L., Mallo, J., & Navarro, E. (2011). Acute effects of endurance exercise on jumping and kicking performance in top-class young soccer players. *European Journal of Sport Science*, 11(3), 191-196. doi: 10.1080/17461391.2010.500335

Kapidizic, A., Huremovic, T., & Biberovic, A. (2014). Kinematic analysis of the instep kick in youth soccer players. *J Hum Kinet*, 42, 81-90. doi: 10.2478/hukin-2014-0063

le Gall, F., Carling, C., Williams, M., & Reilly, T. (2010). Anthropometric and fitness characteristics of international, professional and amateur male graduate soccer players from an elite youth academy. *J Sci Med Sport*, 13(1), 90-95. doi: 10.1016/j.jsams.2008.07.004

Leger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *J Sports Sci*, 6(2), 93-101. doi: 10.1080/02640418808729800

Markovic, G., Dizdar, D., & Jaric, S. (2006). Evaluation of tests of maximum kicking performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 46(2), 215-220.

Marques, M. C., Pereira, A., Reis, I. G., & van den Tillaar, R. (2013). Does an in-Season 6-Week Combined Sprint and Jump Training Program Improve Strength-Speed Abilities and Kicking Performance in Young Soccer Players? *J Hum Kinet*, 39, 157-166. doi: 10.2478/hukin-2013-0078

Meylan, C., Cronin, J., Oliver, J., & Hughes, M. (2010). Talent identification in soccer: The role of maturity status on physical, physiological and technical characteristics. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 5(4), 571-592. doi: 10.1260/1747-9541.5.4.571

Ostojic, S. M., Stojanovic, M., & Ahmetovic, Z. (2010). [Vertical jump as a tool in assessment of muscular power and anaerobic performance]. *Med Pregl*, 63(5-6), 371-375.

Pivarnik, J. M., Dwyer, M. C., & Lauderdale, M. A. (1996). The reliability of aerobic capacity ( $VO_{2\max}$ ) testing in adolescent girls. *Res Q Exerc Sport*, 67(3), 345-348. doi: 10.1080/02701367.1996.10607962

Ramsbottom, R., Brewer, J., & Williams, C. (1988). A progressive shuttle run test to estimate maximal oxygen uptake. *Br J Sports Med*, 22(4), 141-144.

Reilly, T., Williams, A. M., Nevill, A., & Franks, A. (2000). A multidisciplinary approach to talent identification in soccer. *J Sports Sci*, 18(9), 695-702. doi: 10.1080/02640410050120078

Russell, M., & Tooley, E. (2011). Anthropometric and performance characteristics of young male soccer players competing in the UK. *Serbian journal of sports sciences*, 4, 155-162.

Tanner, R. K., & Gore, C. J. (2000). *Physiological test for elite athletes*. Champaign, IL: Human Kinetics

Tomas, M., Frantisek, Z., Lucia, M., & Jaroslav, T. (2014). Profile, correlation and structure of speed in youth elite soccer players. *J Hum Kinet*, 40, 149-159. doi: 10.2478/hukin-2014-0017

Unnithan, V., White, J., Georgiou, A., Iga, J., & Drust, B. (2012a). Talent identification in youth soccer. *Journal of Sports Sciences*, 30(15), 1719-1726. doi: 10.1080/02640414.2012.731515

Unnithan, V., White, J., Georgiou, A., Iga, J., & Drust, B. (2012b). Talent identification in youth soccer. *J Sports Sci*, 30(15), 1719-1726. doi: 10.1080/02640414.2012.731515

Vaeyens, R., Malina, R. M., Janssens, M., Van Renterghem, B., Bourgeois, J., Vrijens, J., & Philippaerts, R. M. (2006). A multidisciplinary selection model for youth soccer: the Ghent Youth Soccer Project. *Br J Sports Med*, 40(11), 928-934; discussion 934. doi: 10.1136/bjsm.2006.029652

Vantinen, T., Blomqvist, M., & Hakkinen, K. (2010). Development of body composition, hormone profile, physical fitness, general perceptual motor skills, soccer skills and on-the-ball performance in soccer-specific laboratory test among adolescent soccer players. *J Sports Sci Med*, 9(4), 547-556.



# Effects of Muscle Fatigue Induced by Countermovement Jumps on Efficacy Parameters of Instep Ball Kicking in Soccer

Víctor Torreblanca-Martinez, Fernando M. Otero-Saborido, José A. Gonzalez-Jurado  
Pablo de Olavide University

The purpose was to study the effects of muscle fatigue induced by countermovement jumps (CMJ) on instep kick foot velocity in young male soccer players. Fifteen under-18 soccer players from a professional club performed maximal velocity instep kicks before and after a fatigue protocol that consisted of continuous CMJ. Foot velocity at impact without fatigue, foot velocity at impact with fatigue, CMJ height without fatigue, maximum jump height in fatigue test, and CMJ height change in fatigue test on a dynamometric platform were measured. There was a significant difference between jump height with and without fatigue ( $P = .00$ ;  $ES = 0.8$ ), but there were no significant differences between kicking with fatigue and without fatigue ( $P = .580$ ,  $ES = 0.10$ ). In conclusion, although the protocol was intense enough to generate fatigue in the muscles involved in CMJ, there were no significant differences in kicking velocity under fatigue conditions with respect to kicking without fatigue in the soccer players studied.

**Keywords:** soccer, muscular fatigue, performance, 3D analysis, kicking, CMJ

The main purpose in soccer is to achieve more goals than the opponent team, which will resolve the match. The main technical action to achieve this purpose is the kick, whose efficacy will be determined by the velocity and accuracy with which it is performed. This action is conditioned by the intermittent nature of the sport, which implies that in most occasions it will be made with a high degree of fatigue.<sup>1</sup>

Most studies focus on the analysis of instep kicking, because it is the contact surface used to promote further acceleration of the ball, considering that success is related to the ability to achieve higher kick velocity.<sup>2</sup>

Despite the difficulties to evaluate kick action due to the multiple tasks involved in it,<sup>1</sup> foot velocity at the time of contact with the ball is the main determining factor of kicking velocity.<sup>3</sup> Previous studies<sup>4</sup> have found high correlation coefficients ( $r > .74$ ) between foot velocity and ball velocity. Furthermore, reviews related to the kick<sup>5</sup> found a strong relationship between foot velocity and ball velocity in the reviewed articles. These reviews also assume how well it is demonstrated<sup>3</sup> that the increase or decrease of foot velocity in any of the kicks in soccer involved the increase or decrease, respectively, of ball velocity during the kick.

It has been reported that the hip flexors and knee extensors of the kicking leg are important to promote high foot velocity,<sup>6</sup> with the rectus femoris being the most active muscle in electromyography measures during the kick, which includes measures of the rectus femoris, biceps femoris, gastrocnemius, and vastus medialis.<sup>7</sup> In addition to the rectus femoris, another, very active muscle is the iliopsoas.<sup>8</sup>

Fatigue involves a decrease in the capacity to generate maximal strength or muscular power, which is associated with continuous

physical activity, and it results in a reduction of sport performance.<sup>9</sup> Therefore, it could affect explosive actions like accelerating, kicking, or sprinting.<sup>10</sup>

Diverse studies have examined the correlation between fatigue induction and a reduction in kicking velocity in soccer. Most studies conclude that fatigue has a negative effect on kicking velocity in soccer. However, even though some studies find significant differences,<sup>11-13</sup> the data presented by other studies<sup>14-16</sup> suggest that these differences are not significant and that velocity does not decrease, or that there is no progression between the different circuits, concluding that this variability is probably due to the methodology used.

The protocols followed to calculate the effect of fatigue in kicking velocity are diverse, finding different sources of fatigue.

Isolated exercises of knee extension and flexion were used, with 40% and 50% of body weight to induce fatigue,<sup>11</sup> achieving a significant reduction of kick velocity with fatigue.

Other studies used intermittent exercise as a protocol to induce fatigue. Kellis et al<sup>13</sup> carried out a circuit of 9600 m, including different running intensities, finding a significant reduction in kick velocity after applying the fatigue protocol. In the case of Ferraz et al,<sup>12,14</sup> they used a fatigue protocol based on a circuit with different explosive actions similar to a game. In the first case,<sup>12</sup> they found a significant reduction in kick velocity. However, in the second case,<sup>14</sup> there was no progressive reduction in kick velocity between the different circuits.

Match simulations and the competition itself have been used to calculate the effect of fatigue on kick velocity. In the study by Russell et al,<sup>15</sup> a 90-minute long match simulation was used and reduction of kick velocity only occurred during the second half of the simulation. In the study by Zemková and Hamar,<sup>16</sup> measurements were carried out at half time and at the end of the match simulation, with no decrease in kick velocity in any of the tests.

There are different reasons for which kick velocity is diminished with the appearance of fatigue. It seems to be accepted that the main cause of velocity decrease with fatigue is produced by a reduction in coordination between the kicking leg as well as by the capacity

Torreblanca-Martinez, Otero-Saborido, and Gonzalez-Jurado are with the Faculty of Sport Sciences, Pablo de Olavide University, Seville, Spain. Address author correspondence to Víctor Torreblanca Martínez at [victm81@hotmail.com](mailto:victm81@hotmail.com).

to generate force, which will imply a lower angular velocity in the foot and a reduction in the angular momentum of each joint.<sup>11–14</sup>

A counter movement jump (CMJ) is a common measure to relate jump performance with different factors,<sup>17</sup> as this continuous jump test is a reliable measure of anaerobic performance.<sup>18</sup> In addition, continuous jumps have been used as a fatigue protocol to analyze the effects of fatigue in running mechanics.<sup>19</sup>

According to this, a large diversity of results has been reported and many different methodologies have been applied, related to the induction of fatigue and its effects on soccer kick efficacy. The aim of this study was to investigate the effect of muscle fatigue induced by CMJ on ball kick foot velocity in young soccer players. It was hypothesized that fatigue induced by CMJ would decrease kick foot velocity in soccer.

## Methods

### Participants

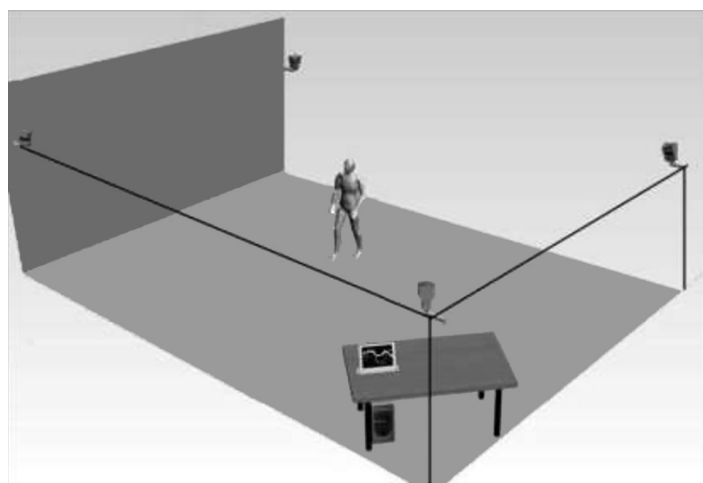
The sample was composed of 15 young soccer players with the following characteristics: range of age (years) = 17–18, body mass (mean  $\pm$  SD, kg) = 72.66  $\pm$  7.41, height (mean  $\pm$  SD, m) = 1.79  $\pm$  0.05.

Players belonged to a youth team which competes in the top Spanish U-19 category. All players had a minimum experience of 7 seasons in official competitions. At the time of the study, no injuries were diagnosed and none of the players were in a recovery process.

All participants and their parents or guardians were informed in advance about the purpose of the study and the type of evidence to be submitted. Each of the players and their parents or guardians gave their signed informed assent following the recommendations of the Declaration of Helsinki. The study was approved by the Institutional Review Board of Pablo de Olavide University.

### Instruments

For the generation of data, a motion capture CLIMA system (STT, Spain) was used. It includes a vest, a cap, 21 reflective markers, 3D Soccer Analyzer software (STT, Spain), and four 50 Hz cameras (PAL M50IR, JAI), which were placed following the protocol (Figure 1).



**Figure 1** — Location of the cameras in the optical tracking system for CLIMA motion capture.

The CLIMA system, previously used in similar studies<sup>20,21</sup> is an optical system for analyzing movement, which was designed to provide magnitudes that define the performance of a specific athlete, allowing the captured images to be seen in 3D, or real images of the action performed to be expressed as coordinates for each of the reflector markers that the athlete is wearing.

Such system needs a calibration process, which consists of computing the extrinsic parameters (the vectors and angles that define the position and orientation of each camera) and the intrinsic parameters (the numerical factors that define the optical characteristics used for each camera), allowing a global framework to be developed for all the cameras used in the optical system of movement capture.

The movement capture system STT uses a nonlinear mathematical model for lenses, which takes into account the geometric distortion generated by the lens of short focal distance. For this particular case, the intrinsic parameters included the scale factors as well as the radial coefficients and the tangential distortion. This system includes a software module that calculates all these parameters automatically.

Following the calibration process, to obtain a biomechanical model that represents the athlete's movements, 21 markers were placed according to the instructions described in the CLIMA system manual (Figure 2).

CMJ variables were collected using a Kistler *Quatro jump* dynamometric platform, with the *Quatro jump* software v.1.0.9.0. This equipment has been previously used in other studies.<sup>22,23</sup>

### Design

The research protocol used was (Figure 3):

1. Generic warm-up (8 minutes): articular mobility, cardiovascular activation, and stretching
2. Specific warm-up (4 minutes): kicking, submaximal test of CMJ jumps, and stretching
3. Three CMJ jumps on the dynamometric platform with the aim of achieving maximal jump height, with 2 minutes of recovery between jumps. The median of the 3 jumps was selected. The reliability was evaluated by calculating the intraclass correlation coefficient.



**Figure 2** — Location of the external markers to capture motion with the CLIMA optical tracking system.

relation coefficient (ICC), 0.957. The greatest coefficient of variation was 0.05.

4. Six continuous jumps over the dynamometric platform to establish the baseline (according to the protocol of continuous jumps for Kitsler *Quatro jump*)
5. 5 minutes of rest
6. A maximal instep kick was performed to obtain a 3D capture without fatigue.
7. Without rest, continuous and maximum CMJ jumps were carried out on the dynamometric platform for 15 seconds.
8. Immediately after, a second maximal kick was performed.
9. Without rest time, the subjects performed CMJ jumps on the platform for 30 seconds, aiming to achieve maximum jump height at every jump.
10. Then, also without rest, the subjects performed the third maximal kick under fatigue conditions.

Variables studied (Figure 3):

1. CMJ without fatigue. Median height value in the three jumps before the fatigue protocol.
2. Foot velocity without fatigue ( $V_i$ ). To calculate foot velocity at the time of impact, the foot segment closest to the ground was used (the shortest position value with respect to the Y axis, data given by the CLIMA system). The values of velocity in the previous frame and in the following frame were considered, calculating the mean for foot velocity between these three frames. This average value is considered as foot velocity at the time of impact.
3. CMJ with fatigue. Height of the best CMJ in 30" fatigue test.
4. Mean first 5 CMJ. In 30" fatigue test.
5. Mean last 5 CMJ. In 30" fatigue test.
6. Foot velocity with fatigue ( $V_f$ ). The same method used to calculate foot velocity without fatigue was followed.

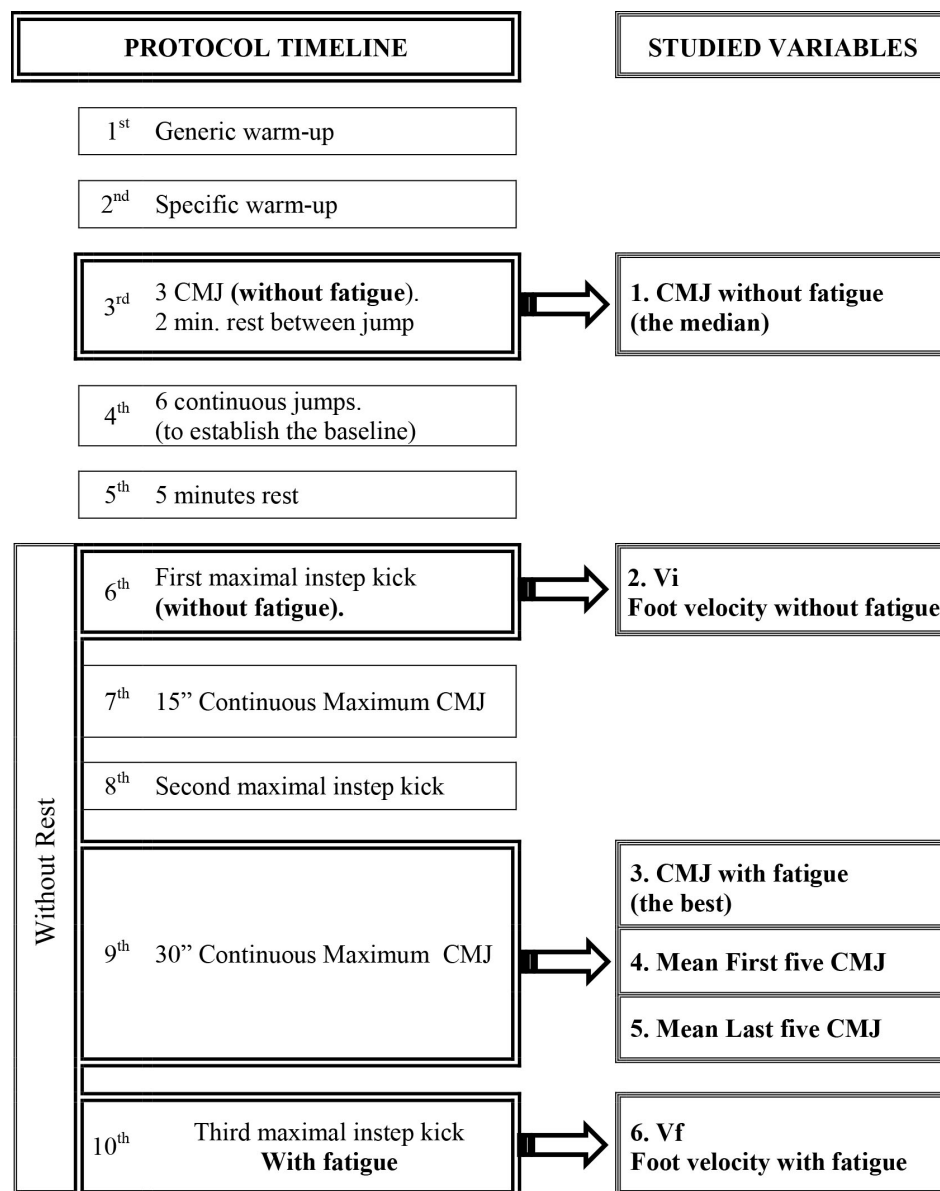


Figure 3 — Timetable and variables flowchart. CMJ = countermovement jump.

## Statistical Analyses

For the statistical analyses, the software IBM SPSS Statistics 22 (Armonk, NY) was used. Regarding descriptive statistics, the mean, standard deviation, and the coefficient of variation were calculated.

To avoid possible inaccuracies which might occur due to the low frequency of the cameras (50 Hz), the coefficient of variation was calculated between the foot velocity measures of the different frames. With the purpose of determining the consistency of the measures, the intraclass correlation coefficient (ICC) was calculated between the 3 frames of each kick. The coefficient of variation is frequently used to establish the reliability in similar studies with throws,<sup>24</sup> as well as for all kinds of kicks in soccer, rugby, or football.<sup>25</sup>

With respect to inferential statistics, a paired sample *t*-Test or Wilcoxon was conducted, according to the normality, calculated through Shapiro-Wilk test. The Cohen's *d* effect size was also calculated.<sup>26</sup>

To detect correlations between these variables, Pearson's *r* was calculated, setting the statistical significance at  $P < .05$ .

## Results

Kicks without fatigue (0.917) and kicks with fatigue (0.896) showed high concordance between the velocities recorded in the 3 frames registered. The greatest coefficient of variation obtained was 0.19 (Table 1). In addition, the velocity of all subjects in each frame is shown, as well as the mean kick velocity, without fatigue and under fatigue conditions. The intraclass correlation coefficient was calculated for the entire sample. Fatigue induced by CMJ caused a statistically significant decrease of jump height ( $P < .0001$ ) between the average of the first 5 jumps ( $38.2 \pm 2.7$ ) and that of the last 5 jumps ( $31.7 \pm 3.5$ ) in a 30-second fatigue test (Figure 4). The percentage change between both variables in this test is also shown.

No significant differences were observed in foot velocity between fatigue and nonfatigue conditions ( $P = .580$ ) and the effect size (0.09) was small. Regarding CMJ height, statistical significance between both measures ( $P = .00$ ) and a large effect size (0.8) were obtained (Table 2).

There was no correlation ( $r = .149$ ,  $P = .596$ ) in foot velocity change between fatigue and nonfatigue conditions, and in change percentage in the 30-second fatigue test (Figure 5), although a positive trend was observed.

## Discussion

The aim of this study was to analyze the effect of fatigue, induced by means of vertical jumps, on foot velocity in soccer instep kick.

Table 1 shows the results of foot velocity at the time of impact with the ball in all the subjects analyzed, both before and after the fatigue protocol. The coefficient of variation and the intraclass correlation coefficient obtained indicate a remarkable reliability among the data of the frames used to determine the values of velocity at the time of the foot to ball impact. The data reported in terms of foot velocity in this study are similar to the data reported in other studies.<sup>15,27</sup>

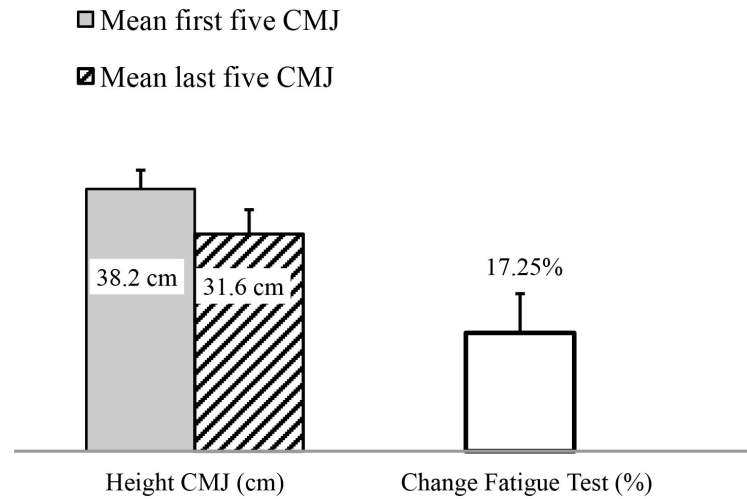
The fatigue protocol applied in this study was intense enough to generate a tangible fatigue in the muscular structures involved in the vertical jump, in such a way that there was a decrease in jump performance, resulting in a change of 17.25% (Figure 4). This protocol or fatigue test has been previously used and validated, concluding that it is effective at inducing fatigue.<sup>18</sup> Protocols based on continuous vertical jumps are frequently used to measure the effect of fatigue<sup>28</sup> as well as to induce fatigue in the muscular groups involved during the protocol.<sup>19</sup> Consequently, the execution of the last kick (kick with fatigue) was made under conditions of evident and objective fatigue in the muscles responsible for knee extension, plantar flexion of the ankle, and the extension of the hip, which are the muscles

**Table 1** Foot velocity of each subject with and without fatigue

Subject	Foot Velocity Without Fatigue (m/s)					Foot Velocity With Fatigue (m/s)				
	Frame-1 <sup>¥</sup>	Frame 0 <sup>¥</sup>	Frame 1 <sup>¥</sup>	Mean	CV	Frame-1 <sup>§</sup>	Frame 0 <sup>§</sup>	Frame 1 <sup>§</sup>	Mean	CV
1	13.43	13.57	13.35	13.45	0.01	13.40	13.85	13.33	13.53	0.02
2	14.01	15.60	14.04	14.55	0.06	16.52	13.10	16.06	15.23	0.12
3	13.74	12.83	11.67	12.75	0.08	10.14	13.24	11.25	11.54	0.14
4	16.78	17.31	14.98	16.36	0.07	18.55	19.29	16.86	18.23	0.07
5	14.62	14.40	12.15	13.72	0.10	16.58	16.16	12.03	14.92	0.17
6	14.58	15.27	11.65	13.83	0.14	15.58	13.87	10.67	13.37	0.19
7	17.12	15.94	13.28	15.45	0.13	16.37	15.68	13.32	15.13	0.11
8	17.47	19.11	18.76	18.45	0.05	16.08	16.80	14.91	15.93	0.06
9	13.42	14.63	14.52	14.19	0.05	14.07	13.68	11.82	13.19	0.09
10	20.59	21.98	20.84	21.14	0.04	16.33	18.72	17.89	17.64	0.07
11	13.11	13.71	11.20	12.68	0.10	11.45	11.15	10.42	11.01	0.05
12	17.40	16.68	13.80	15.96	0.12	16.39	17.93	17.05	17.12	0.05
13	15.99	17.75	14.72	16.15	0.09	19.01	19.01	14.73	17.58	0.14
14	16.70	18.71	16.58	17.33	0.07	17.72	20.00	19.95	19.22	0.07
15	13.51	17.82	17.69	16.34	0.15	15.89	14.99	14.47	15.12	0.05

Frame-1 = foot velocity in the frame before impact; frame 0 = foot velocity at the time of impact; frame 1 = foot velocity in the frame after impact; CV = coefficient of variation; <sup>¥</sup> intraclass correlation coefficient 0.917; <sup>§</sup> intraclass correlation coefficient 0.896.

### 30 second Fatigue Test: CMJ Jumps comparison and Change Percentage



**Figure 4** — Comparison of the first 5 and the last 5 jumps of continuous jumping and change in fatigue test.  $*p < .0001$   $t$  test and Cohen's effect size  $d = -1.8$  (large). CMJ = countermovement jump.

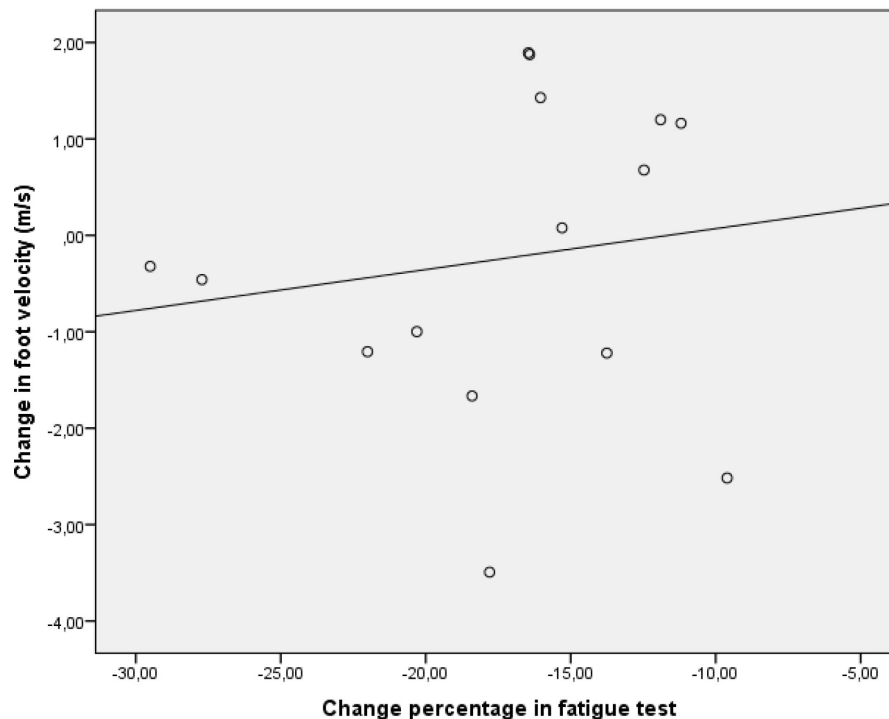
**Table 2** Kick foot velocity (m/s) and the countermovement jump (CMJ) height (cm) without fatigue vs. with fatigue (mean  $\pm$  SD)

	Without Fatigue	With Fatigue	Change	CI (95%)	p Value	Effect Size <sup>§</sup>	
						Value	Magnitude
Velocity (m/s)	15.5 $\pm$ 2.3	15.2 $\pm$ 2.4	0.24 $\pm$ 1.63	-0.66 to 1.13	.58*	0.10	Small
CMJ (cm)	44.03 $\pm$ 3.9	41.02 $\pm$ 3.8	3.01 $\pm$ 4	0.78 to 5.2	.00**	0.8	Large

\*  $P > .05$  for  $t$  test.

\*\*  $P < .05$  for Wilcoxon.

§ Cohen's effect size.



**Figure 5** — Correlation between fatigue index and percentage of change in foot velocity between  $V_i$  and  $V_f$  ( $r = .211$ ,  $p = .451$ ).



involved in CMJ.<sup>29</sup> In this regard, the comparison between median CMJ heights without fatigue with respect to the height when the jump was executed with induced fatigue after continuous CMJ for 15 seconds shows a significant decrease, while this reduction in jump height shows a large effect size (0.8). That is, before completing the jump-based 30-second fatigue test, the subjects already showed a significant decrease in the performance of CMJ, 44 cm vs. 41 cm (Table 2). As it was previously mentioned, this demonstrates the efficiency of the protocol of continuous CMJ to induce fatigue, thus influencing the performance of vertical jump.<sup>18</sup> Consequently, the fatigue generated in the muscular groups involved in CMJ before executing the third kick was more than considerable (Figure 3).

According to the results obtained for kick foot velocity without fatigue and after induced fatigue, a slight decrease is observed in foot velocity at the time of impact with the ball. This difference is not statistically significant and it presents a low effect size (0.10) (Table 2). It also reveals (Figure 5) that there is no correlation between the change in foot velocity under fatigue conditions and height change in the 30-second fatigue test ( $r = .149$  and  $P = .596$ ). These results are consistent with the results obtained in a study that compared some performance abilities in soccer at half time and after finishing the match, in which no significant reduction in kicking velocity was found with respect to fatigue.<sup>16</sup> In the same line of research, Ferraz et al<sup>14</sup> reported that kick velocity in soccer does not decrease with induced fatigue, although in this study a different protocol was conducted. After 5 times repeating a circuit of 90 seconds that induced fatigue by different actions that simulated a real match situation, there was no significant reduction in kick velocity in any of the itineraries of the circuit. The results are also consistent with the study of Russell et al,<sup>15</sup> who did not find statistical significances between initial kick velocity and kick velocity after a match simulation of 90 minutes. However, as in the current study, a reduction in foot velocity can be observed, which is not statistically significant but it is similar to the reduction shown (Table 2) between the kick without fatigue and the kick with fatigue (15.5 vs 15.2). It has been reported that after the application of a fatigue protocol, a significant decrease was found in kick velocity.<sup>12</sup> Fatigue was induced by an intermittent circuit which finished with values between 85% and 95% maximum heart rate. From our point of view, obtaining solely the percentage of heart rate might not be the best physiological variable to establish a correlation between the degree of fatigue achieved and the reduction in kicking velocity, owing to the fact that a small variation in the heart rate might not have influence in the muscles involved in the kick.

In a different study, fatigue was induced at the extensor and flexor muscles of the knee using a weight training machine (Nautilus strength machine) with 50% and 40% of the body weight, respectively, performing the fatigue protocol to exhaustion.<sup>11</sup> There was a significant decrease in kick velocity, although the total exhaustion of a muscle group rarely occurs during a competition match.

Kellis et al<sup>13</sup> reported a decrease in kick velocity after a fatigue protocol based on a match simulation, measuring blood ammonia and lactate, which showed significantly increased values. The slight difference between kick velocity with and without fatigue obtained in this study could be due to the fact that the muscles that are fatigued with the continuous vertical jumps are not the main muscles responsible for the achievement of foot velocity in instep kick. Despite the fact that CMJ is a global movement that activates a large number of muscle groups,<sup>30</sup> the main muscle groups responsible for this movement are the knee extensors<sup>31</sup> and, to a lesser extent, the hip extensors,<sup>32</sup> which are therefore the muscles with greatest fatigue during and after the protocol carried out in this

study. However, in soccer kicking, hip flexors play a fundamental role in the acceleration of the lower limb during the kick.<sup>4</sup> In this way, Young and Rath<sup>3</sup> reported that kick velocity is determined by a complex sequence of concentric contractions of hip flexors and knee extensors during which both muscles play a very important role for generating foot velocity.

Different muscle groups have been analyzed during the kick by electromyography, in terms of percentage of activation with respect to the maximal isometric activation. Dorge et al<sup>6</sup> found measures of up to 100.9% in the iliopsoas and 102% in the vastus lateralis, with a reduced activation in other muscles such as the rectus femoris at 68.7%, biceps femoris at 30%, and gluteus maximus at 31.2%. It seems that hip flexors, which are not fatigued with the protocol applied in this study, have a greater implication in the acceleration of the kicking foot, which could explain why the differences between foot velocity at the time of impact without fatigue and foot velocity at the time of impact with fatigue do not show statistically significant differences.

Some limitations need to be addressed. To understand how fatigue affects the kick in soccer, it will be necessary to design more specific protocols of exercise which focus on those muscle groups that play the most important roles in the kinetic chain of the kick action. In addition, sample size should be larger.

The protocol designed was intense enough to induce fatigue in the muscle groups involved in the CMJ in the group of soccer players studied. In regard to our previous hypothesis, even though the muscles involved in CMJ presented considerable muscle fatigue, kick foot velocity after the fatigue protocol did not decrease significantly with respect to kick foot velocity without previous fatigue in the group of soccer players studied. Although there is a positive trend, no statistically significant correlation was found between the change in percentage obtained between the first 5 CMJ heights and the last 5 CMJ heights in the 30-second fatigue test on the dynamometric platform and the change in foot velocity during ball kicking without and with fatigue.

## References

1. Russell M, Kingsley M. Influence of exercise on skill proficiency in soccer. *Sports Med.* 2011;41(7):523–539. [PubMed doi:10.2165/11589130-000000000-00000](#)
2. Nunome H, Asai T, Ikegami Y, Sakurai S. Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(12):2028–2036. [PubMed doi:10.1097/00005768-200212000-00025](#)
3. Young WB, Rath DA. Enhancing foot velocity in football kicking: the role of strength training. *J Strength Cond Res.* 2011;25(2):561–566. [PubMed doi:10.1519/JSC.0b013e3181bf42eb](#)
4. Kellis E, Katis A. Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *J Sports Sci Med.* 2007;6(2):154–165. [PubMed](#)
5. Lees A, Asai T, Andersen TB, Nunome H, Sterzing T. The biomechanics of kicking in soccer: a review. *J Sports Sci.* 2010;28(8):805–817. [PubMed doi:10.1080/02640414.2010.481305](#)
6. Dörge HC, Bull Andersen T, Sørensen H, et al. EMG activity of the iliopsoas muscle and leg kinetics during the soccer place kick. *Scand J Med Sci Sports.* 1999;9(4):195–200. [PubMed doi:10.1111/j.1600-0838.1999.tb00233.x](#)
7. Manolopoulos E, Katis A, Manolopoulos K, Kalapotharakos V, Kellis E. Effects of a 10-week resistance exercise program on soccer kick biomechanics and muscle strength. *J Strength Cond Res.* 2013;27(12):3391–3401. [PubMed doi:10.1519/JSC.0b013e3182915f21](#)

8. Brophy RH, Backus SI, Pansy BS, Lyman S, Williams RJ. Lower extremity muscle activation and alignment during the soccer instep and side-foot kicks. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2007;37(5):260–268. [PubMed doi:10.2519/jospt.2007.2255](#)
9. Rahnama N, Reilly T, Lees A, Graham-Smith P. Muscle fatigue induced by exercise simulating the work rate of competitive soccer. *J Sports Sci.* 2003;21(11):933–942. [PubMed doi:10.1080/0264041031000140428](#)
10. Thorlund JB, Aagaard P, Madsen K. Rapid muscle force capacity changes after soccer match play. *Int J Sports Med.* 2009;30(4):273–278. [PubMed doi:10.1055/s-0028-1104587](#)
11. Apriantono T, Nunome H, Ikegami Y, Sano S. The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football. *J Sports Sci.* 2006;24(9):951–960. [PubMed doi:10.1080/02640410500386050](#)
12. Ferraz R, van den Tillaar R, Ferraz S, et al. A pilot study on the influence of fatigue on kicking velocity in the soccer players. *J Phy Ed Sport.* 2011;11(2):68–71.
13. Kellis E, Katis A, Vrabas IS. Effects of an intermittent exercise fatigue protocol on biomechanics of soccer kick performance. *Scand J Med Sci Sports.* 2006;16(5):334–344. [PubMed doi:10.1111/j.1600-0838.2005.00496.x](#)
14. Ferraz R, Van Den Tillaar R, Marques MC. The effect of fatigue on kicking velocity in soccer players. *J Hum Kinet.* 2012;35(1):97–107. [PubMed doi:10.2478/v10078-012-0083-8](#)
15. Russell M, Benton D, Kingsley M. The effects of fatigue on soccer skills performed during a soccer match simulation. *Int J Sports Physiol Perform.* 2011;6(2):221–233. [PubMed doi:10.1123/ijsspp.6.2.221](#)
16. Zemková E, Hamar D. The effect of soccer match induced fatigue on neuromuscular performance. *Kinesiology.* 2009;41(2):195–202.
17. Centeno-Prada RA, Lopez C, Naranjo-Orellana J. Jump percentile: a proposal for evaluation of high level sportsmen. *J Sports Med Phys Fitness.* 2015;55(5):464–470. [PubMed](#)
18. Dal Pupo J, Gheller RG, Dias JA, Rodacki ALF, Moro ARP, Santos SG. Reliability and validity of the 30-s continuous jump test for anaerobic fitness evaluation. *J Sci Med Sport.* 2014;17(6):650–655. [PubMed doi:10.1016/j.jsams.2013.09.007](#)
19. Fischer G, Storniolo JLL, Peyré-Tartaruga LA. Effects of fatigue on running mechanics: Spring-mass behavior in recreational runners after 60 seconds of countermovement jumps. *J Appl Biomech.* 2015;31(6):445–451. [doi:10.1123/jab.2014-0235](#)
20. Gonzalez-Jurado JA, Pérez AMM, Martín FP. Differences in kinematics parameters in soccer kick between male and female. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.* 2012;12(47):431–443.
21. Gonzalez-Jurado JA, Vivas Moreno M, Floria Martín P. Análisis por fotogrametría 3D de la técnica de swing de una golfista profesional. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.* 2011;11(42):236–254.
22. Jagers JR, Swank AM, Frost KL, Lee CD. The acute effects of dynamic and ballistic stretching on vertical jump height, force, and power. *J Strength Cond Res.* 2008;22(6):1844–1849.
23. Ortega DR, Rodriguez Bies EC, Berral de la Rosa FJ. Analysis of the vertical ground reaction forces and temporal factors in the landing phase of a countermovement jump. *J Sports Sci Med.* 2010;9(2):282–287. [PubMed](#)
24. Harasin D, Dizdar D, Markovic G. High reliability of tests of maximum throwing performance. *J Hum Mov Stud.* 2006;51(1):63–76.
25. Markovic G, Dizdar D, Jaric S. Evaluation of tests of maximum kicking performance. *J Sports Med Phys Fitness.* 2006;46(2):215–220. [PubMed](#)
26. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences.* Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates; 1988.
27. Sakamoto K, Shimizu Y, Yamada E, Hong S, Asai T. Difference in kicking motion between female and male soccer players. Paper presented at: Procedia Engineering, 2013. [doi:10.1016/j.proeng.2013.07.009](#)
28. Buchheit M, Spencer M, Ahmaidi S. Reliability, usefulness, and validity of a repeated sprint and jump ability test. *Int J Sports Physiol Perform.* 2010;5(1):3–17. [PubMed doi:10.1123/ijsspp.5.1.3](#)
29. McErlain-Naylor S, King M, Pain MT. Determinants of countermovement jump performance: a kinetic and kinematic analysis. *J Sports Sci.* 2014;32(19):1805–1812. [PubMed doi:10.1080/02640414.2014.924055](#)
30. Bobbert MF, Van Ingen Schenau GJ. Coordination in vertical jumping. *J Biomech.* 1988;21(3):249–262. [PubMed doi:10.1016/0021-9290\(88\)90175-3](#)
31. Rodacki ALF, Fowler NE, Bennett SJ. Vertical jump coordination: Fatigue effects. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(1):105–116. [PubMed doi:10.1097/00005768-200201000-00017](#)
32. Bermudez G, Fábrica G. Determinant factors of efficiency when the counter movement jump is performed in acute fatigue. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano.* 2014;16(3):316–324. [doi:10.5007/1980-0037.2014v16n3p316](#)

Copyright of Journal of Applied Biomechanics is the property of Human Kinetics Publishers, Inc. and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.

## **Relationships between fitness test and kicking velocity in young soccer players**

Víctor TORREBLANCA-MARTÍNEZ, José A. GONZÁLEZ-JURADO, Fernando M. OTERO-SABORIDO

*The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 2017 Apr 13

DOI: 10.23736/S0022-4707.17.07084-0

Article type: Original Article

© 2017 EDIZIONI MINERVA MEDICA

---

Subscription: Information about subscribing to Minerva Medica journals is online at:

<http://www.minervamedica.it/en/how-to-order-journals.php>

Reprints and permissions: For information about reprints and permissions send an email to:

[journals.dept@minervamedica.it](mailto:journals.dept@minervamedica.it) - [journals2.dept@minervamedica.it](mailto:journals2.dept@minervamedica.it) - [journals6.dept@minervamedica.it](mailto:journals6.dept@minervamedica.it)

---

**Title:** Relationships between fitness test and kicking velocity in young soccer players.

**Authors:** Víctor Torreblanca-Martínez<sup>1\*</sup>, José A. González-Jurado<sup>1</sup>, Fernando M., Otero-Saborido.

<sup>1</sup>Affiliation: Pablo de Olavide University. Faculty of sport.

\*Corresponding autor: Víctor Torreblanca Martínez. Faculty of sport. Pablo de Olavide University. Carretera de Utrera km 1, CP:41013. Seville. Spain. victm81@hotmail.com

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** To study the relation between fitness test and kicking velocity in young soccer players, which has not been previously studied in this group of age.

**METHODS:** Ninety eight Under-11 soccer players who belonged to two professional Spanish clubs and two amateur clubs were subjected to sprint test (15 and 30 meters), CMJ (Countermovement Jump), estimation of maximal oxygen intake ( $VO_{2max}$ ), kicking velocity test, fatigue index of jump height and anthropometrical measures.

**RESULTS:** Kicking velocity was significantly correlated ( $p < 0.05$ ) with 15m sprint ( $r = -0.554$ ) and 30m sprint ( $r = -0.587$ ), CMJ height ( $r = 0.479$ ),  $VO_{2max}$  ( $r = 0.475$ ), body mass ( $r = 0.311$ ) and height ( $r = 0.529$ ), but not with body mass index (BMI) ( $r = -0.011$ ) and fatigue index of jump height ( $r = -0.05$ ).

**CONCLUSION:** This study provides new data about correlations between kicking velocity and fitness test, establishing greater correlations between kicking velocity and other variables compared to other groups of age previously studied, suggesting high transferences between results in fitness test and kicking velocity.

**Key words:**

Performance-testing-under 11-kick

## Introduction

Physiological measures, through the realisation of specific tests, have been used to determine factors related to success in the selection of young soccer players<sup>1-4</sup>. At the same time, greater efficacy in tests that measure specific soccer skills may, in some cases, discriminate between young soccer players of different levels. This has been the case in different soccer skills, such as dribbling<sup>5-8</sup>, ball control<sup>5, 6</sup>, the pass<sup>5, 6</sup> and the kick<sup>5-7</sup>.

In the specialized literature we find examples of significant correlations between performance in specific tests related to fitness level and skills in soccer. For example, statistically significant relationships have been reported between pass accuracy, 10m sprint and height in CMJ jump<sup>9</sup>, between short pass and sprint time in distances of 5, 20 and 30 meters<sup>10</sup>, between dribbling and the performance in intermittent test of 20 meters and with repeated sprint test<sup>6</sup>, as well as between kicking velocity and height in vertical jump<sup>11</sup>.

In soccer, kicking is the most widely studied skill, being evaluated in most occasions by the maximal velocity achieved by the ball<sup>12</sup>. Kicking is characterised for being a multiarticular movement<sup>13</sup>, in which the kicking leg has been the most studied segment, despite the fact that other aspects like the approach to the ball, the support leg, the upper body, the pelvis or the foot-ball interaction could have some influence on the final result<sup>14</sup>. Therefore, anthropometric measures could have some importance in the final velocity achieved by the ball.

Various studies have related maximal kicking velocity with different fitness tests. In this regard, measures of kicking velocity using both legs have been compared with sprint time in 5, 10 and 20 meters<sup>15</sup>, with a significant correlation found only between kicking velocity of dominant and non-dominant leg in a U16 national team. However, other authors found a weak relationship between maximal kicking velocity and Squat jump (SJ), CMJ and sprint time in 5, 10 and 20 meters<sup>16</sup>. In the same line, we can see how kicking velocity improves simultaneously that CMJ and sprint times in U16 players<sup>17</sup>. Another study found significant correlations between some variables in twenty two elite young women<sup>11</sup>. Maximal kicking velocity was analysed simultaneously with 1 repetition max (1-RM) in squat, vertical jump, aerobic power, acceleration (velocity in 36 meters) and sprint time in 100 meters. In this case, ball velocity and vertical jump

were highly correlated, and a moderately high correlation was found between 1-RM in squat and ball velocity and between ball velocity and acceleration. Moderate correlations were found between ball velocity and sprint in 100 meters, and between ball velocity and maximal oxygen intake.

Anthropometric measures and physiological performance, including kicking velocity, could be related <sup>7</sup>. The results of this research include correlations between kicking velocity and body mass and between kicking velocity and BMI in a group of U14 soccer players. In addition, it is well known that height, body mass and muscle mass increase with growth influencing performance in fitness tests <sup>18-20</sup>.

To sum up, according to Young <sup>21</sup>, this limitation in the data correlated between kicking velocity and other variables does not allow to establish a cause-effect correlation between strength measures and kicking velocity; thereby, more information about the role of strength and kicking velocity is necessary <sup>21</sup>. In regard to the previous data, this assertion must be extended to other correlations between fitness test, anthropometric measures and kicking velocity.

The aim of this study was to examine the relationship between maximal kicking velocity and fitness test in young soccer players. It was hypothesised that kicking velocity would be related to physical fitness.

## **Materials and methods**

### *Participants*

A total of 98 male U11 soccer players with the following characteristics participated in the research: years (Mean  $\pm$  SD) =  $10.61 \pm 0.71$ , body mass (Mean  $\pm$  SD, kg) =  $38.35 \pm 6.87$ , height (Mean  $\pm$  SD, cm) =  $144 \pm 7.75$ .

In order to avoid significant differences due to different player levels <sup>4</sup>, soccer players of two professional and two non-professional clubs were recruited, agreeing to participate voluntarily in the study. All of them were competing during the 2015/2016 season with license in the Spanish Football Federation. At the time of the study, no injuries were diagnosed and none of the players were in a recovery process.



All participants and their parents or guardians were informed in advance about the purpose of the study and the type of evidence to be submitted. Each of the players and their parents or guardians gave their signed informed assent following the recommendations of the Declaration of Helsinki. This study was approved by the IRB of the Pablo de Olavide University.

### *Instruments*

Anthropometric measures were taken according to standard procedures <sup>22</sup>. Body mass was measured with a reliable weighting scale Seca <sup>®</sup>869 (Seca GmbH & Co, Hamburg, Germany) and height with a stadiometer (Soehnle<sup>®</sup> 5003, China). Then, the Body Mass Index was calculated.

Jump measures were obtained using a dynamometric platform Kistler<sup>®</sup> Quattro Jump type 9290 AD (Kistler<sup>®</sup>, Suisse) with Quattro Jump Software version 1.1.0.3. Jump height measures were obtained through CMJ test, commonly used <sup>23</sup>. Fatigue index of jump height is provided by the dynamometric platform application and has been used in previous studies <sup>24</sup> to determine the fatigue effects in the jump. It is defined as the comparison between the mean height of the first 5 jumps and the mean height of the last 5 jumps.

$$\text{Fatigue Index} = \text{avg (height last five jumps)} / \text{avg (height first five jumps)} * 100\%$$

Maximal kicking velocity has been a common measure in different studies that have tried to determine kicking velocity, which was obtained using a radar gun <sup>15, 25</sup>. In the present study, a Stalker ATS II radar (Stalker<sup>®</sup>, USA) was used, which has a precision time of 0.01 seconds, a velocity range of 0.27-397,86 m·s<sup>-1</sup> and the capacity to detect ball movement in a distance of 152.40 meters.

Sprint time tests are standardized measures in young soccer players <sup>3</sup>. 15 and 30 meters were selected in the present study as the running distances, which have been used in previous studies with young soccer players <sup>4</sup>. Velocity was established using two Microgate Witty Gate photocells (Microgate<sup>®</sup>, Italy), with a Microgate Witty Timer receptor.

The estimated VO<sub>2max</sub> values were estimated using a 20 meters progressive run test <sup>26</sup>, using the age-related tables provided by Leger <sup>27</sup>.

## *Procedure*

The study was divided into two sessions with two days of rest between them. Players had a 20 minutes rest between tests for full recovery <sup>7</sup>. The order in each session was as follows:

### Session 1:

- Anthropometrical measures.
- Specific warm up (15 minutes).
- CMJ test.
- Progressive run test.

### Session 2:

- Specific warm up (15 minutes).
- Ball kicking test.
- Sprint time test (15 and 30 meters).

In the first session, warm up exercises consisted of upper and lower body mobility exercises, displacement in different directions, proprioceptive exercises, stretches of the major muscle groups and ball familiarization exercises. In the second session, ball familiarization was changed for sprint exercises with different intensities.

For CMJ measures, a standardized protocol was followed <sup>28, 29</sup>. Prior to the test, all subjects executed enough jumps to assure that they knew the correct technique and used it properly. In addition, six continuous jumps over the dynamometric platform to establish the baseline were performed by each player (according to the protocol of continuous jumps for Kitsler® *Quattro jump*). Each player performed 3 jumps, with a recovery period of 2 minutes between jumps. The best of the 3 jumps was selected. After a 5 minute rest, fatigue tests of 15 seconds with continuous and maximum CMJ jumps were carried out on the dynamometric platform, to obtain fatigue index.

In the ball kicking test, the kick was executed from the penalty spot to the middle of the goal as fast as possible. Following previous researches <sup>30</sup>, players were told that

although the kicks missing the net would be repeated, they should have not decreased the speed in order to improve accuracy. The participants performed a 4-5 meters approach run, kicking the ball with the dominant leg <sup>31</sup>. The radar gun was placed behind the goal as was described in previous studies <sup>15</sup>. Each player performed 3 trials, with a rest interval of 30 seconds between trials <sup>30</sup>. The fastest kick was selected.

Sprint time tests were performed over 15 and 30 meters. The players were placed at the back of the start photocell and chose the moment they started running, in a straight line. Players had three trials for each distance with 2 minutes of recovery between each attempt <sup>32</sup> and the fastest run was chosen.

A 20 meter progressive run test was performed. A progressive running increment of 0.13 m·s<sup>-1</sup> per minute was conducted. The players were previously informed of the test protocol and the evaluators discarded those players who could not overcome the line.

### *Statistical analyses*

For the statistical analyses, the IBM SPSS Statistics 22 software was used.

Regarding the descriptive statistics, the mean, standard deviation and coefficient of variation were calculated.

The confidence level of the measures was estimated by the 95% confidence interval for the mean.

In order to know the consistency of the measures, the Intraclass correlation coefficient (ICC) was calculated between repeated measures. The two-way random absolute agreement model was used.

To establish if there were correlations between maximal kicking velocity and other variables, the  $r$  of Pearson and the coefficient of determination ( $r^2$ ) were calculated, setting the statistical significance at  $p < .05$ .

Multiple Linear Regression was used to determine the relative contributions of the different tests to the variable Maximal Kicking velocity.

## Results

Table 1 shows the results obtained in the different variables of the study, the range of the data and the ICC.

\*\*\*\* Table 1 about here\*\*\*\*

The reliability of the test with repeated measures was achieved with the ICC, and the results show that the tests were highly repeatable for Maximal ball velocity (ICC = 0.932;  $n=98$ ), Jump height (ICC = 0.895;  $n=98$ ), 15m sprint (ICC = 0.989;  $n=98$ ) and 30m sprint (ICC = 0.980;  $n=98$ ). The ICC in the Progressive run test cannot be calculated because it was only executed once. However, previous studies have shown Coefficients of Variation below 5% in this test <sup>33</sup>.

Table 2 shows the correlations observed between the variables of this study.

\*\*\*\* Table 2 about here\*\*\*\*

In reference to anthropometrical measures, significant relationships were found between Age and Ball Velocity ( $r = 0.580, p < 0.01$ ), Body Mass and Ball velocity ( $r = 0.311, p < 0.01$ ) and between Height, Ball velocity ( $r = 0.529, p < 0.01$ ) and 15m sprint ( $r = -0.260, p < 0.01$ ) and 30m sprint ( $r = -0.297, p < 0.01$ ). In addition, Body Mass Index was highly correlated with 15m sprint ( $r = 0.383, p < 0.01$ ), 30m sprint ( $r = 0.386, p < 0.01$ ) and estimated maximal oxygen intake ( $r = -0.480, p < 0.01$ ). Height was correlated with 15m sprint ( $r = -0.260, p < 0.01$ ) and 30m sprint ( $r = -0.297, p < 0.01$ ). And last, age was correlated with estimated maximal oxygen intake ( $r = 0.281, p < 0.01$ ), CMJ height ( $r = -0.392, p < 0.01$ ), 15m sprint ( $r = -0.367, p < 0.01$ ) and 30m sprint ( $r = -0.440, p < 0.01$ ).

Regarding physiological measures, Ball velocity is determined by CMJ Height ( $r = 0.479, p < 0.01$ ), 15m sprint ( $r = -0.554, p < 0.01$ ), 30m sprint ( $r = -0.587, p < 0.01$ ) and estimated maximal oxygen intake ( $r = 0.475, p < 0.01$ ). Also, strong relationships were observed between CMJ height and 15m sprint ( $r = 0.668, p < 0.01$ ) and 30m sprint ( $r = 0.685, p < 0.01$ ). Moreover, estimated oxygen intake was highly correlated with CMJ height ( $r = 0.374, p < 0.01$ ) and 15m sprint ( $r = -0.637, p < 0.01$ ) and 30m sprint ( $r = -0.687, p < 0.01$ ).

Table 3 shows a Linear Regression Model between the physical fitness variables and kicking velocity.

\*\*\*\* Table 3 about here\*\*\*\*

A significant association between physical fitness level and performance in kicking velocity has been observed. There are no significant differences in the relative contribution of each variable to kicking velocity as shown by the individual Beta coefficients.

Table 4 shows the relative contribution of statically significant anthropometric variables in kicking velocity.

\*\*\*\*Table 4 about here\*\*\*\*

A significant association between anthropometric variables and performance in kicking velocity has been observed. There is a significant difference in the contribution of height ( $p < 0.05$ ) and age ( $p < 0.01$ ) to kicking velocity as shown by the individual Beta coefficients.

## Discussion

The aim of this study was to analyze the relationship between maximal kicking velocity, physical fitness and anthropometric measures in U11 soccer players.

Table 1 shows in detail the results obtained in the studied variables. The ICC obtained indicated high reliability in the data. The anthropometric data reported in terms of height <sup>9, 34-36</sup>, body mass <sup>34, 36-38</sup> and body mass index <sup>35-37</sup> are similar to the data obtained in other studies for the same group of age. We found the same results as other studies in CMJ height <sup>9, 34, 36</sup>, 15m sprint <sup>35</sup> and maximal oxygen intake <sup>32</sup>. 30m sprint was slightly higher compared to another study <sup>36</sup>, probably due to the fact that it only included players from a professional club. The data reported in terms of ball velocity in this study are similar to the data reported in other studies for the same group of age <sup>37-39</sup>. Fatigue index of jump height has not been previously studied in young soccer players.

In regard to our results, which show correlations between fitness test and maximal ball velocity, the data are different to the data reported in another study <sup>15, 40, 41</sup>. Significant correlations have been found between maximal ball velocity and 15m sprint, 30m sprint, CMJ height and  $VO_{2max}$  (Table 2), in the same line as another study <sup>11</sup>. Likewise, a remarkable association was found between maximal ball velocity, age, height and body mass.

The main justification in the studies that do not find significant correlations between kicking velocity and other fitness variables is that these abilities belong to completely independent movements<sup>15</sup>. However, in the present study, in addition to the statistically significant associations found between fitness variables, significant correlations were also found between each performance indicator and maximal ball velocity (Table 2).

In order to detect differences in relation to the influence of each of the studied variables over maximal ball velocity, two linear regression models were carried out. The first model included fitness performance variables (Table 3). According to the results obtained, 30m sprint was the most influencing variable over maximal ball velocity. However, the variance of maximal ball velocity explained by this variable (Standardized Beta coefficients) does not show significant differences with respect to the rest of the fitness performance variables (Table 3).

It must be taken into account that most of the previously published studies have been made in an age range of 14-18 years, none of which found any significant correlations between maximal kicking velocity and performance in fitness tests <sup>15, 16</sup>. However, a study <sup>11</sup> carried out in elite female soccer players reported significant correlations between maximal ball velocity and a performance test similar to the one used in the present study, as well as with sprint velocity and estimated  $\text{VO}_{2\text{ max}}$ . At the same time, we can see similar improvements after a specific training between kicking velocity in CMJ and sprint times <sup>17</sup>.

Regarding the anthropometric measures and kicking velocity, significant correlations were found between kicking velocity and height, and with body mass. However, no correlation was found with BMI (Table 2). The established correlations between kicking velocity, BMI ( $r = -0.011$ ) and body mass ( $r = 0.311$ ) are similar to other studies <sup>7, 40</sup>, but not for height, for which correlations of  $p > 0.05$  <sup>7</sup> were observed, while in the present study these were  $r = 0.529$  and  $p < 0.01$ .

Opposed to the findings in fitness variables, the regression model that included the anthropometric variables as predictive variables showed statistically significant differences in the individual difference; age ( $p < 0.01$ ) and height ( $p < 0.05$ ) were more determining variables of maximal ball velocity (Table 4). It has been reported that maximal ball velocity increases with age <sup>13, 42</sup>; therefore, U11 players in a growing age, during which an increase in size takes place, it seems logical to think that older players will achieve greater kicking velocity, as it happens in the present study, since they are able to achieve bigger velocity in the corporal segment involved in the action, which is a critical factor for the ball to achieve greater velocity with the kick <sup>43</sup>. Thereby, this fact could explain that height and, consequently, age were the best predictive variables of kicking velocity in the second regression model (Table 4).

Since this is a group of age which has not been previously studied and given the differences with respect to other studies, it could be inferred that the established correlations between maximal ball velocity and performance in fitness tests are highly dependent on the group of age studied.

To avoid possible limitations on this study, the sample could be increased to different groups of age and gender, to establish whether the correlations found are dependent on



age, as well as player gender. Likewise, the range of variables related to fitness tests and anthropometric measures could be enlarged.

With the goal of understanding how the correlations between maximal ball velocity, fitness condition indicators and anthropometrical factors are modified with age, player level or gender, as future lines of research, studies which include samples big enough to be representative of the different groups of players could be proposed.

### **Conclusions**

The obtained results show that there is a significant association between kicking velocity and 15m and 30m sprint, CMJ height,  $VO_{2max}$ , body mass and height in the U11 soccer players studied. In addition, all physical performance measures showed a significant correlation with each other. However, none of the fitness variables influenced maximal ball velocity more significantly than the rest in, except for 30m sprint, which was the most influencing variable in maximal ball velocity.

In addition, making reference to anthropometric variables, age and height influenced more significantly than other variables to achieve higher scores in the technical action of the kick, according to the regression models.

### **Practical applications**

The present study is novel due to the fact that it has been the first to establish correlations between physiological, anthropometric and kicking velocity variables in this group of age.

The first practical application offered by this study is related to the differences between the high numbers of correlations shown compared to other studies in different ages. Thus, the kind of training is highly dependent on age, since, depending on the group of age, some skills could influence others.

According to the significant correlations of this study, improving the different variables of physical fitness produces in greater kicking velocity in U11 soccer players.

In reference to the anthropometric variables, height and age are the most influencing variables of maximal ball velocity. Thus, training in young players should be focused on

technical aspects rather than achieving greater kicking velocity, due to the fact that maturation, with an increase in height, will improve this ability in a few years.

### References

1. Bidaurrazaga-Letona I, Lekue JA, Amado M, Santos-Concejero J, Gil SM. Identifying talented young soccer players: Conditional, anthropometrical and physiological characteristics as predictors of performance. *RICYDE Revista internacional de ciencias del deporte*. 2015;11:79-95.
2. Gil SM, Zabala-Lili J, Bidaurrazaga-Letona I, Aduna B, Lekue JA, Santos-Concejero J, et al. Talent identification and selection process of outfield players and goalkeepers in a professional soccer club. *J Sports Sci*. 2014;32:1931-9.
3. Meylan C, Cronin J, Oliver J, Hughes M. Talent identification in soccer: The role of maturity status on physical, physiological and technical characteristics. *Int J Sports Sci and Coach*. 2010;5:571-92.
4. Unnithan V, White J, Georgiou A, Iga J, Drust B. Talent identification in youth soccer. *J Sports Sci*. 2012;30:1719-26.
5. Malina RM, Cumming SP, Kontos AP, Eisenmann JC, Ribeiro B, Aroso J. Maturity-associated variation in sport-specific skills of youth soccer players aged 13-15 years. *J Sports Sci*. 2005;23:515-22.
6. Strauss A, Jacobs S, Van Den Berg L. The influence of anaerobic and aerobic fitness on the technical skill ability of national elite male under-18 african soccer players. *Mediterr J Soc Sci*. 2014;5:1704-11.
7. Wong PL, Chamari K, Dellal A, Wisløff U. Relationship between anthropometric and physiological characteristics in youth soccer players. *J Strength Cond Res*. 2009;23:1204-10.
8. Zago M, Piovan AG, Annoni I, Ciprandi D, Iaia FM, Sforza C. Dribbling determinants in sub-elite youth soccer players. *J Sports Sci*. 2015.

9. Vääntinen T, Blomqvist M, Häkkinen K. Development of body composition, hormone profile, physical fitness, general perceptual motor skills, soccer skills and on-the-ball performance in soccer-specific laboratory test among adolescent soccer players. *J Sports Sci Med*. 2010;9:547-56.
10. Benounis O, BenAbderrahman A, Chamari K, Ajmol A, BenBrahim M, Hammouda A, et al. Association of short-passing ability with athletic performances in youth soccer players. *Asian J Sports Med*. 2013;4:41-8.
11. Brooks KA, Clark SL, Dawes JJ. Isokinetic Strength and Performance in Collegiate Women's Soccer. *J Nov Physiother*. 2013 Feb 28;Suppl 3:001.
12. Rodríguez-Lorenzo L, Fernandez-Del-Olmo M, Martín-Acero R. A critical review of the technique parameters and sample features of maximal kicking velocity in soccer. *Strength Cond J*. 2015;37:26-39.
13. Kellis E, Katis A. Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *J Sports Sci Med*. 2007;6:154-65.
14. Lees A, Asai T, Andersen TB, Nunome H, Sterzing T. The biomechanics of kicking in soccer: a review. *J Sports Sci*. 2010 Jun;28:805-17.
15. Tomas M, Frantisek Z, Lucia M, Jaroslav T. Profile, correlation and structure of speed in youth elite soccer players. *J Hum Kinet*. 2014 Mar 27;40:149-59.
16. Santos-García DJ, Navarro Valdivieso F. Analysis speed ball in the beating in football players based measurement system, intended for precision shooting, and its relationship with other explosive action. *Eur J Hum Mov*. 2004;15:2386-4095.
17. Garcia-Pinillos F, Martinez-Amat A, Hita-Contreras F, Martinez-Lopez EJ, Latorre-Roman PA. Effects of a contrast training program without external load on vertical jump, kicking speed, sprint, and agility of young soccer players. *J Strength Cond Res*. 2014 Sep;28:2452-60.
18. Armstrong N, Barker AR, McManus AM. Muscle metabolism changes with age and maturation: How do they relate to youth sport performance? *Br J Sports Med*. 2015 Jul;49:860-4.

19. Armstrong N, McManus AM. Physiology of elite young male athletes. *Med Sport Sci.* 2011;56:1-22.
20. Beunen GP, Malina RM, Renson R, Simons J, Ostyn M, Lefevre J. Physical activity and growth, maturation and performance: a longitudinal study. *Med Sci Sports Exerc.* 1992 May;24:576-85.
21. Young WB, Rath DA. Enhancing foot velocity in football kicking: the role of strength training. *J Strength Cond Res.* 2011 Feb;25:561-6.
22. Tanner RK, Gore CJ. Physiological test for elite athletes. Champaign, IL: Human Kinetics 2000.
23. Ostojic SM, Stojanovic M, Ahmetovic Z. [Vertical jump as a tool in assessment of muscular power and anaerobic performance]. *Med Pregl.* 2010 May-Jun;63:371-5.
24. Centeno-Prada RA, Lopez C, Naranjo-Orellana J. Jump percentile: a proposal for evaluation of high level sportsmen. *J Sports Med Phys Fitness.* 2015 May;55:464-70.
25. Ferraz R, van den Tillaar R, Marques MC. The effect of fatigue on kicking velocity in soccer players. *J Hum Kinet.* 2012 Dec;35:97-107.
26. Ramsbottom R, Brewer J, Williams C. A progressive shuttle run test to estimate maximal oxygen uptake. *Br J Sports Med.* 1988 Dec;22:141-4.
27. Leger LA, Mercier D, Gadoury C, Lambert J. The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *J Sports Sci.* 1988 Summer;6:93-101.
28. Jimenez-Reyes P, Samozino P, Cuadrado-Penafiel V, Conceicao F, Gonzalez-Badillo JJ, Morin JB. Effect of countermovement on power-force-velocity profile. *Eur J Appl Physiol.* 2014 Nov;114:2281-8.
29. Lopez-Segovia M, Marques MC, van den Tillaar R, Gonzalez-Badillo JJ. Relationships between vertical jump and full squat power outputs with sprint times in u21 soccer players. *J Hum Kinet.* 2011 Dec;30:135-44.
30. Markovic G, Dizdar D, Jaric S. Evaluation of tests of maximum kicking performance. *J Sports Med Phys Fitness.* 2006 Jun;46:215-20.

31. Juárez D, de Subijana CL, Mallo J, Navarro E. Acute effects of endurance exercise on jumping and kicking performance in top-class young soccer players. *Eur J Sport Sci.* 2011;11:191-6.
32. Russell M, Tooley E. Anthropometric and performance characteristics of young male soccer players competing in the UK. *Serbian journal of sports sciences.* 2011 December;4:155-62.
33. Pivarnik JM, Dwyer MC, Lauderdale MA. The reliability of aerobic capacity (VO<sub>2</sub>max) testing in adolescent girls. *Res Q Exerc Sport.* 1996 Sep;67:345-8.
34. Figueiredo AJ, Coelho e Silva MJ, Malina RM. Predictors of functional capacity and skill in youth soccer players. *Scand J Med Sci Sports.* 2011 Jun;21:446-54.
35. Francioni FM, Figueiredo AJ, Terribili M, Tessitore A. Analysis of the intraseasonal stability of field test performances in young academy soccer players. *J Sports Sci.* 2015 Sep 3:1-7.
36. Gravina L, Gil SM, Ruiz F, Zubero J, Gil J, Irazusta J. Anthropometric and physiological differences between first team and reserve soccer players aged 10-14 years at the beginning and end of the season. *J Strength Cond Res.* 2008 Jul;22:1308-14.
37. Berjan Bacvarevic B, Pazin N, Bozic PR, Mirkov D, Kukolj M, Jaric S. Evaluation of a composite test of kicking performance. *J Strength Cond Res.* 2012 Jul;26:1945-52.
38. Kapidzic A, Huremovic T, Biberovic A. Kinematic analysis of the instep kick in youth soccer players. *J Hum Kinet.* 2014 Sep 29;42:81-90.
39. Marques MC, Pereira A, Reis IG, van den Tillaar R. Does an in-Season 6-Week Combined Sprint and Jump Training Program Improve Strength-Speed Abilities and Kicking Performance in Young Soccer Players? *J Hum Kinet.* 2013 Dec 18;39:157-66.
40. García-Pinillos F, Ruiz-Ariza A, Navarro-Martínez AV, Latorre-Román PA. Performance analysis using vertical jump, agility, speed and kicking speed in young soccer players: Influence of age. *Apunts Medicina de l'Esport.* 2014;49:67-73.
41. Santos-García DJ, López de Subijana C, Mallo Sainz J, Navarro Cabello E. Análisis del golpeo de balón y su relación con el salto vertical en futbolistas juveniles de alto nivel. (Analysis of the soccer kick and its relationship with the vertical jump in young

top-class soccer players.). RICYDE Revista Internacional de Ciencias del Deporte. 2010;6.

42. Katis A, Kellis E, Lees A. Age and gender differences in kinematics of powerful instep kicks in soccer. Sports Biomech. 2015;14:287-99.

43. De Witt JK, Hinrichs RN. Mechanical factors associated with the development of high ball velocity during an instep soccer kick. Sports Biomech. 2012 Sep;11:382-90.

## **Titles of tables**

**Table 1.** Descriptive analysis of the studied variables.

**Table 2.** Correlations between anthropometric and physiological measures and maximal ball velocity.

**Table 3.** Fitness test predictors of performance for maximal kicking velocity.

**Table 4.** Anthropometric predictors of performance for maximal kicking velocity.

**Table 1.** Descriptive analysis of the studied variables

	<b>Mean <math>\pm</math> SD</b>	<b>Range</b>	<b>CI (95%)</b>	<b>ICC</b>	<b>CV</b>
<b>Age (years)</b>	10.61 $\pm$ 0.71	10 - 12	10.47 – 10.76	-	-
<b>BM</b>	38.35 $\pm$ 6.87	26.2 - 55.2	36.97 - 39.72	-	-
<b>Height (cm)</b>	144 $\pm$ 7.75	128 - 167	142 - 145	-	-
<b>BMI</b>	18.36 $\pm$ 2.43	14.38 - 28.57	17.87 - 18.84	-	-
<b>BV</b>	20.46 $\pm$ 2.48	16.67 - 25.83	19.96 - 20.96	0.932	0.051
<b>CMJ</b>	32.10 $\pm$ 4.35	21.7 - 42	31.23 - 32.97	0.895	0.057
<b>FI</b>	91.18 $\pm$ 11.64	30.0 - 108.5	88.84 - 93.52	-	-
<b>15m S</b>	3.01 $\pm$ 0.20	2.65 - 3.66	2.97 - 3.05	0.898	0.021
<b>30m S</b>	5.46 $\pm$ 0.44	4.79 - 7.01	5.37 - 5.55	0.980	0.012
<b>VO<sub>2max</sub></b>	50.24 $\pm$ 4.97	23.87 - 39.12	49.24 - 51.24	-	-

CI (95%) = 95% Confidence Interval; ICC= Intraclass Correlation Coefficient; CV= Coefficient of Variation; BM= Body Mass (kg); BMI=Body Mass Index (kg·m<sup>-2</sup>); BV: Maximal Ball velocity (m·s<sup>-1</sup>); CMJ= Jump height in CMJ (cm); FI= Fatigue index of jump height (%); 15m S= 15 meters sprint (s); 30m S= 30 meters sprint (s); VO<sub>2max</sub>= Estimated maximal oxygen intake (ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>)



**Table 2.** Correlations between anthropometric and physiological measures and maximal ball velocity.

		Age	BM	Height	BMI	VO <sub>2max</sub>	CMJ	FI	15m S	30m S	BV
Age	r	1	0.347**	0.539**	0.026	0.281**	0.392**	-0.160	-0.367**	-0.440**	0.580**
	r <sup>2</sup>	1	0.120	0.291	0.001	0.079	0.154	0.026	0.135	0.193	0.336
BM	r		1	0.694**	0.801**	-0.288**	0.060	-0.061	0.118	0.103	0.311**
	r <sup>2</sup>		1	0.481	0.642	0.083	0.004	0.004	0.014	0.011	0.097
Height	r			1	0.132	0.102	0.274	-0.271	-0.260**	-0.297**	0.529**
	r <sup>2</sup>			1	0.017	0.011	0.075	0.029	0.067	0.088	0.280
BMI	r				1	-0.480**	-0.158	0.057	0.383**	0.396**	-0.011
	r <sup>2</sup>				1	0.231	0.025	0.003	0.147	0.157	0.000
VO <sub>2max</sub>	r					1	0.374**	0.046	-0.637**	-0.687**	0.476**
	r <sup>2</sup>					1	0.140	0.002	0.406	0.472	0.227
CMJ	r						1	-0.051	0.668**	0.685**	0.479**
	r <sup>2</sup>						1	0.003	0.446	0.469	0.230
FI	r							1	0.057	0.018	-0.058
	r <sup>2</sup>							1	0.003	0.000	0.003
15m S	r								1	0.909**	-0.554**
	r <sup>2</sup>								1	0.826	0.306
30m S	r									1	-0.587**
	r <sup>2</sup>									1	0.344

BM= Body Mass (kg); BMI=Body Mass Index (kg·m<sup>-2</sup>); BV: Maximal Ball velocity (m·s<sup>-1</sup>); CMJ= Jump height in CMJ (cm); FI= Fatigue index of jump height (%); 15m S= 15 meters sprint (s); 30m S= 30 meters sprint (s); VO<sub>2max</sub>= Estimated maximal oxygen intake (ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>).

**Table 3.** Fitness test predictors of performance for maximal kicking velocity

Variables	Regression Model Summary			Standardized Beta coefficients	
	r <sup>2</sup>	F	P value	β	P value
15m S	0.371	13.703	0.000	-0.060	0.767
30m S				-0.300	0.176
VO <sub>2max</sub>				0.167	0.151
CMJ				0.172	0.143
15m S= 15 meters sprint (s); 30m S= 30 meters sprint (s); VO <sub>2</sub> max= Estimated maximal oxygen intake (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ); CMJ= Jump height in CMJ (cm).					

**Table 4.** Anthropometric predictors of performance for maximal kicking velocity

Variables	Regression Model Summary			Standardized Beta coefficients	
	r <sup>2</sup>	F	P value	β	P value
Age				0.412	0.000**
BM	0.406	21.459	0.000	-0.088	0.430
Height				0.368	0.004*
BM= Body Mass (kg)					

## ANEXO 2. Otras aportaciones científicas derivadas de la Tesis doctoral

### **Estudio 4. Is fatigue induced by repeated-sprint related to kicking accuracy and velocity, in female soccer players?. / ¿Se relaciona la fatiga inducida por medio de esprines repetidos con la precisión y la velocidad del golpeo y jugadoras de fútbol?**

#### 1. Introducción

El golpeo es la acción técnica más estudiada en fútbol (Rodríguez-Lorenzo, Fernandez-Del-Olmo, & Martín-Acero, 2015), ya que es la acción definitiva del juego (Lees, Asai, Andersen, Nunome, & Sterzing, 2010), siendo marcados el 80.69% de los goles por medio de esta acción (Rodríguez-Lorenzo et al., 2015). La fatiga y la consecuente reducción que se produce en el rendimiento podrían ser la causa del desproporcionado número de goles que se consiguen durante los últimos 15 minutos de un partido (Russell, Benton, & Kingsley, 2011).

La velocidad máxima y la precisión han sido las variables más estudiadas en relación a la acción de golpeo, con estudios sobre la aplicación de diversos protocolos de ejercicio en ambos factores (Russell et al., 2011), como son simulaciones de partido (Russell et al., 2011), circuitos (Ferraz et al., 2011; Ferraz, van den Tillaar, & Marques, 2012; Kellis, Katis, & Vrabas, 2006; Stone & Oliver, 2009), carrera en cinta a diferentes intensidades (Juárez, de Subijana, Mallo, & Navarro, 2011; Katis, Amiridis, Kellis, & Lees, 2014), test incrementales (Radman et al., 2016), sentadillas (Bjelica, Popovic, & Petković, 2013), saltos con contramovimiento (Torreblanca-Martinez, Otero-Saborido, & Gonzalez-Jurado, 2016), flexiones y extensiones de rodilla (Apriantono, Nunome, Ikegami, & Sano, 2006) y la propia competición (Zemková & Hamar, 2009). Por lo tanto, encontramos un gran número de protocolos de fatiga, lo cual hace difícil interpretar los resultados de los mismos así como su capacidad para generar una fatiga tangible. Por otro lado, en muchos casos las demandas fisiológicas del juego no son completamente reproducidas en estos test (Russell et al., 2011).

Además, se han utilizado diferentes métodos para determinar la presencia de fatiga en el momento en que el jugador golpea el balón, como son la frecuencia cardíaca (Ferraz et al., 2011; Ferraz et al., 2012; Juárez et al., 2011; Kellis et al., 2006; Radman et al., 2016; Russell et al., 2011; Stone & Oliver, 2009; Zemková & Hamar, 2009), la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) (Ferraz et al., 2012; Radman et al., 2016; Russell et al., 2011; Zemková & Hamar, 2009) o el lactato sanguíneo (Ferraz et al., 2012; Kellis et al., 2006; Radman et al., 2016; Russell et al., 2011).

Algunos estudios han reportado datos sobre el efecto de la fatiga en la precisión del golpeo (Bjelica et al., 2013; Radman et al., 2016; Russell et al., 2011; Stone & Oliver, 2009). Sin embargo, todos han usado jugadores varones en la muestra, sin ser reportado ningún estudio en jugadoras de fútbol. En este caso, los estudios llegaron a la misma conclusión: la fatiga afecta a la precisión del golpeo. Solo uno de los estudios informó de correlaciones entre variables de fatiga y el decremento en la precisión del golpeo, mostrándose un decremento en la precisión del golpeo cercano al segundo umbral (Radman et al., 2016).

Existen más estudios sobre el efecto de la fatiga en la velocidad de golpeo (Apriantono et al., 2006; Ferraz et al., 2011; Ferraz et al., 2012; Juárez et al., 2011; Katis et al., 2014; Kellis et al., 2006; Radman et al., 2016; Torreblanca-Martinez et al., 2016; Zemková & Hamar, 2009), pero solo uno incluye jugadoras de fútbol en la muestra (Katis et al., 2014). Al contrario que en la precisión, encontramos una gran disparidad de resultados en relación a la velocidad de golpeo, concluyendo algunos estudios que la fatiga afecta a la velocidad de golpeo (Apriantono et al., 2006; Ferraz et al., 2011; Ferraz et al., 2012; Katis et al., 2014; Kellis et al., 2006; Radman et al., 2016) y, en otros casos, que la velocidad de golpeo no se ve afectada por el efecto de la fatiga (Juárez et al., 2011; Torreblanca-Martinez et al., 2016; Zemková & Hamar, 2009). Además, un decremento en la velocidad de golpeo se correlacionó con el segundo umbral en un test progresivo (Radman et al., 2016). Sin embargo, la fatiga generada en un protocolo de saltos con contramovimiento no estableció correlaciones con el decremento en la velocidad máxima del balón (Torreblanca-Martinez et al., 2016).

Debido a la evidente falta de datos sobre el efecto de la fatiga en los factores relacionados con el golpeo en mujeres, el propósito de este estudio fue analizar el efecto de la fatiga

en la velocidad y la precisión del golpeo en jugadoras de fútbol. La hipótesis principal es que la fatiga afecta a la velocidad y a la precisión del golpeo.

## 2. Métodos

### *Participantes*

Un total de 18 jugadoras sub-23 jugadoras de fútbol con las siguientes características participaron en la investigación: edad (Media  $\pm$  DT, años) =  $18.44 \pm 1.75$ , peso (Media  $\pm$  DT, kg) =  $56.08 \pm 6.50$ , altura (Media  $\pm$  DT, cm) =  $161.61 \pm 4.90$ .

Las jugadoras pertenecían al Segundo equipo de un club profesional español. Este equipo compite en la segunda división de la liga femenina. En el momento del estudio no se diagnosticaron lesiones y ninguna de las jugadoras se encontraba en proceso de recuperación.

Todas las participantes fueron informadas previamente sobre el propósito del estudio y el tipo de pruebas realizadas. Cada una de las jugadoras firmó un consentimiento informado siguiendo las recomendaciones de la declaración de Helsinki. El estudio fue aprobado por el comité de ética de la Universidad Pablo de Olavide.

### *Instrumentos*

Las medidas antropométricas fueron tomadas de acuerdo con los procedimientos estandarizados (Tanner & Gore, 2000). El peso se midió con un peso fiable Seca® 869 (Seca GmbH & Co, Hamburgo, Alemania) y la altura con un estadiómetro (Soehnle ® 5003, China). Con estos datos, se calculó el índice de masa corporal.

El test de esprines repetidos (RSA) reproduce un esfuerzo máximo o cercano al máximo con recuperaciones breves entre esfuerzos en deportes colectivos (Girard, Mendez-Villanueva, & Bishop, 2011). El rendimiento en RSA fue determinado usando dos fotocélulas Microgate Witty Gate (Microgate®, Italia), con un receptor Microgate Witty Timer. Se seleccionó la distancia de 12x30 m con esprines máximos y una recuperación de 30 segundos entre esprines, protocolo que previamente ha demostrado su capacidad para inducir condiciones de fatiga evidente (Morcillo et al., 2015). Con el objetivo de conocer el grado de fatiga alcanzado, el índice de fatiga (IF) y el porcentaje de decremento

en esprint ( $S_{dec}$ ) fueron propuestos para determinar la manifestación de fatiga (Girard et al., 2011):

$$IF = 100 \times \frac{(MejorS - PeorS)}{MejorS}$$

$$Sdec(\%) = \left(1 - \frac{S1 + S2 + S3 + \dots + S_{final}}{MejorS \times \text{número de esprints}}\right) \times 100$$

La frecuencia cardiaca fue monitorizada durante todo el protocolo. Los jugadores portaron un pulsómetro Polar V800 (Polar®, Finlandia). La percepción de esfuerzo (RPE) se midió con la escala de Borg (Borg, 1998) y fue tomada al principio y al final del test RSA.

La máxima velocidad de golpeo ha sido una medida común en diferentes estudios que han intentado determinar la velocidad de golpeo, la cual ha sido obtenida usando una pistola radar (Ferraz, van den Tillaar, & Marques, 2012; Tomas et al., 2014). En el presente estudio, se usó un radar Stalker ATS II (Stalker®, USA), con una precisión de 0,01 segundos, un rango de velocidad de 0.27-39.86 m·s<sup>-1</sup> y la capacidad para detectar el movimiento del balón a una distancia de 152.40 metros. Los golpes se ejecutaron desde el punto de penalti con la pierna dominante.

La precisión de golpeo se obtuvo usando el “Loughborough Soccer Shooting Test” (LSST), previamente validado (Ali et al., 2007) y usado en diferentes estudios que tenían el objetivo de determinar la precisión del golpeo en fútbol (Owen, Kehoe, & Oliver, 2013; Smith et al., 2016; Stone & Oliver, 2009). Siguiendo las recomendaciones de Stone (Stone & Oliver, 2009), no se usó una réplica de portero de talla real. La zona de golpeo se marcó a 16.5 metros de la portería y poseía una longitud de 8.5 x 8.5 metros, señalizada con cuatros conos de tráfico y usando un banco de madera. La portería fue dividida en zonas de puntuación usando una cinta reflectante roja y blanca de 7 centímetros. El valor de los objetivos se otorgó en función de las posibilidades de marcar un gol durante un partido (Owen et al., 2013) (5 puntos para los disparos a las esquinas de la portería, 3 puntos para los cercanos a los postes, 2 puntos para los disparos cercanos al centro y 1 punto para los que entren por el centro de la portería). Antes de cada disparo, los jugadores tenían que esprintar a uno de los cuatro conos, volver al centro, pasar el balón a un banco, controlar el rebote y disparar. Con el objetivo de evitar un posible decremento en las condiciones de fatiga, como ha sido reportado en estudios previos (Katis et al., 2014), cada disparo se

ejecutó con solo 6 segundos de recuperación entre ellos, de forma similar a como se llevó a cabo en otros protocolos similares al LSST (Radman et al., 2016). Los disparos fueron grabados con dos cámaras Sony Handycam DCR-SR35 (Sony<sup>®</sup>, Japan).

### *Procedimientos*

Los test fueron llevados a cabo en tres días diferentes en la ciudad deportiva del Rayo Vallecano de Madrid S.A.D., en un campo de césped artificial, donde el equipo habitualmente entrena y juega los partidos oficiales, bajo condiciones meteorológicas estables. Todos los participantes iban equipados con sus propias botas y equipaciones de entrenamiento habitual. Se utilizaron diez balones oficiales Adidas Errejota RFEF (Adidas<sup>®</sup>, Germany).

El protocolo de investigación usado fue:

- 1) Calentamiento general (8 minutos): Movilidad articular, activación cardiovascular y estiramientos.
- 2) Calentamiento específico (4 minutos): Golpeos y esprines.
- 3) Familiarización con los test de velocidad y precisión en el golpeo.
- 4) Tres golpeos máximos con el empeine, con 10 segundos de recuperación entre ellos. Se seleccionó el golpeo más rápido. La fiabilidad se calculó con el coeficiente de correlación intraclase (CCI), 0.871. El mayor CV fue de 0.06.
- 5) 10 disparos, siguiendo el protocolo del LSST, con 6 segundos de recuperación entre cada disparo, intentando conseguir la máxima puntuación en cada disparo. Se seleccionó la puntuación total de los disparos.
- 6) Test RSA, el cual consistió en 12 esprines de 30 metros, separados por 30 segundos de recuperación.
- 7) Inmediatamente después, se efectuaron tres golpeos máximos con el empeine. Se seleccionó el golpeo más veloz. El CCI fue de 0.875. El mayor CV fue de 0.07.
- 8) Sin descanso, se repitió el LSST.

Variables estudiadas:



1. Máxima velocidad de golpeo sin fatiga.
2. Precisión en el golpeo sin fatiga.
3. Frecuencia cardiaca previa al protocolo de fatiga.
4. IF en el test RSA.
5.  $S_{dec}$  en el test RSA.
6. Frecuencia cardiaca después del protocolo de fatiga.
7. RPE.
8. Máxima velocidad de golpeo con fatiga.
9. Precisión en el golpeo con fatiga.

### *Análisis estadístico*

Para el análisis estadístico se usó el software IBM SPSS statistics 22.

Con respecto a la estadística descriptiva, se calcularon la media y la desviación estándar.

El nivel de confianza para la media en las distintas medidas se estimó al 95%.

Con el objetivo de conocer la consistencia de las medidas, se calcularon el coeficiente de correlación intraclase (CCI) y el coeficiente de variación (CV) entre medidas repetidas. Se usó un modelo aleatorio de dos factores.

Respecto a la estadística inferencial, para comparar medias se ha aplicado t de Student para datos apareados o Wilcoxon, según el ajuste a la normalidad calculada con el test de Shapiro-Wilk. Asimismo se ha calculado el tamaño del efecto de Cohen (Cohen, 1988), considerando valores de  $d < 0.3$  como pequeños,  $d = 0.3-0.5$  como moderados,  $d = 0.5-0.7$  como grandes,  $d = 0.7-0.9$  como muy grandes y  $d > 0.9$  como extremadamente grandes (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009).

Para establecer si existieron correlaciones entre la diferencia en la velocidad de golpeo y la precisión antes y después del protocolo de fatiga y las variables de fatiga, se calculó la  $r$  de Pearson, determinando la significatividad estadística en  $p < 0.05$ .

Se usó regresión lineal múltiple para determinar la contribución relativa de las diferentes variables de fatiga al cambio en la velocidad y la precisión bajo condiciones de fatiga.

### 3. Resultados

La tabla 1 muestra un análisis descriptivo de las características de la muestra. Además, se incluyen variables de fatiga. Se alcanzan altos valores de fatiga tras la aplicación del protocolo de fatiga, con una media en las pulsaciones finales de 178.61 pulsaciones por minuto, una puntuación en la escala de Borg de 15.22 y un decremento del rendimiento en el test RSA, mostrando un IF en RSA de -12.52% y un  $S_{dec}$  en RSA de -6.53%.

**Tabla 1.** Análisis descriptivo de la muestra y variables de fatiga

	<b>Media <math>\pm</math> DT</b>	<b>CV</b>	<b>IC (95%)</b>
<b>Edad (años)</b>	18.44 $\pm$ 1.75	9.49	17.57 – 19.31
<b>Peso</b>	56.08 $\pm$ 6.5	11.59	52.85 – 59.32
<b>Altura (cm)</b>	161.61 $\pm$ 4.9	3.03	159.17 – 164.04
<b>FC Final (ppm)</b>	178.61 $\pm$ 11.84	6.63	172.71 – 184.50
<b>RPE</b>	15.22 $\pm$ 2.53	16.62	13.96 – 16.48
<b>IF RSA (%)</b>	-12.50 $\pm$ 4.8	-38.40	-14.89 - -10.11
<b><math>S_{dec}</math> RSA (%)</b>	-6.53 $\pm$ 2.95	-45.18	-8.00 - -5.06

DT = Desviación estándar; CV= Coeficiente de variación %; CI (95%) = Intervalo de confianza;  
FC Final = Frecuencia cardíaca tras el protocolo de fatiga en pulsaciones por minuto; RPE =  
Percepción de esfuerzo en la escala de Borg; IF RSA= Índice de fatiga en el test de esprines  
repetidos;  $S_{dec}$  RSA = Porcentaje de decremento del sprint en el test de esprines repetidos.

Se observaron diferencias significativas en la velocidad de golpeo entre condiciones de fatiga y de reposo ( $p = .001$ ) y un tamaño del efecto (0.89) muy grande. Con respecto a

la precisión en el golpeo, no se mostraron diferencias significativas entre ambas medidas ( $p = .433$ ) y se obtuvo un tamaño del efecto considerado como pequeño (0.22) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Velocidad del balón (m/s) y precisión media en condiciones de fatiga y reposo (Media $\pm$ DT).

	Sin	Con	Cambio	IC (95%)	$p$ valor*	Tamaño del efecto <sup>§</sup>	
	Fatiga	Fatiga				Valor	Magnitud
<b>Velocidad</b> <b>(m/s)</b>	23.28 $\pm$ 1.59	21.96 $\pm$ 1.29	1.32 $\pm$ 1.32	0.66 – 1.98	.001	0.83	Muy grande
<b>Precisión</b> <b>(total score)</b>	21.72 $\pm$ 7.62	20.05 $\pm$ 5.51	1.66 $\pm$ 8.79	-2.70 - 6.04	.433	0.22	Pequeño

\* Calculado con T-test.

§ Calculado con el tamaño del efecto de Cohen (Cohen, 1988).

Con respecto a la correlación entre variables de fatiga, precisión y velocidad en el golpeo, se establecieron correlaciones entre el cambio en la velocidad de golpeo y el IF ( $r = -.632$ ,  $p < .01$ ) y con el  $S_{dec}$  ( $r = -.554$ ,  $p < .05$ ), además de entre la precisión en el golpeo y el cambio en RPE ( $r = -.506$ ,  $p < .05$ ). Sin embargo, no existió correlación entre el cambio en la velocidad de golpeo y la diferencia en frecuencia cardiaca ( $r = .235$ ,  $p = .347$ ), RPE ( $r = .380$ ,  $p = .119$ ) y el cambio en la precisión en el golpeo ( $r = .045$ ,  $p = .859$ ). Al mismo tiempo, no hubo correlación entre el cambio en la precisión en el golpeo y la diferencia en la frecuencia cardiaca ( $r = .190$ ,  $p = .450$ ), FI ( $r = .346$ ,  $p = .159$ ),  $S_{dec}$  ( $r = .174$ ,  $p = .491$ ) o el cambio en la velocidad de golpeo ( $r = .045$ ,  $p = .859$ ) (Tabla 3).

**Tabla 3.** Correlaciones entre medidas de fatiga, velocidad y precisión en el golpeo.

	<b>Velocidad de golpeo</b>	<b>Precisión del golpeo</b>
<b>Frecuencia cardiaca</b>	.235 (.347)	.190 (.450)
<b>Indice de fatiga RSA</b>	-.632 (.005)	.346 (.159)
<b>Decremento esprint RSA</b>	-.554 (.017)	.174 (.491)
<b>RPE</b>	.380 (.119)	-.506 (.032)
<b>Velocidad de golpeo</b>	1	.045 (.859)
<b>Precisión del golpeo</b>	.045 (.859)	1

\*Correlación de Pearson Bivariada:  $r$  ( $p$  valor).

La tabla 4 muestra un modelo de regresión lineal para la diferencia en la velocidad de golpeo, el cual incluye las variables frecuencia cardiaca antes y después del protocolo de fatiga, así como FI y  $S_{dec}$  en RSA. No hubo diferencias en la contribución relativa de cada variable a la velocidad de golpeo, como muestran los coeficientes individuales Beta.

**Tabla 4.** Predictores de fatiga para la velocidad de golpeo. Regresión lineal.

	$R^2$	Coefficientes estandarizados Beta
	(Sig.)	(Sig.)
<b>Diferencia en frecuencia cardiaca</b>		.26 (.21)
<b>Indice de fatiga RSA</b>	.46 (.02)	-.86 (.08)
<b>Decremento esprint RSA</b>		.26 (.58)

La tabla 5 muestra un modelo de regresión lineal para la diferencia en la precisión del golpeo, el cual incluye las variables RPE, FI y Sdec en RSA. No hubo diferencias significativas en la contribución relativa de las variables RPE y S<sub>dec</sub> en RSA a la velocidad de golpeo, como muestran los coeficientes individuales Beta.

**Tabla 5.** Predictores de fatiga para la precision del golpeo. Regresión lineal.

	$R^2$	Coefficientes estandarizados Beta
	(Sig.)	(Sig.)
<b>RPE</b>		-.63 (.02)
<b>Indice de fatiga RSA</b>	.44 (.03)	.87 (.07)
<b>Decremento esprint RSA</b>		-1.03 (.04)

#### 4. Discusión y conclusiones

El objetivo de este estudio fue analizar los efectos de la fatiga en la velocidad y precisión del golpeo en jugadoras de fútbol.

El protocolo de fatiga aplicado en este estudio fue suficientemente intenso para generar una fatiga tangible en los participantes (Tabla 1). Este protocolo ha sido usado en estudios previos, mostrando su capacidad para generar fatiga real en jugadores de fútbol (Morcillo et al., 2015). Además, el RSA reproduce el esfuerzo que podría esperarse en un deporte colectivo (Girard et al., 2011), aspecto que ha sido el principal problema en los protocolos de fatiga usados en estudios anteriores (Barfield, Kirkendall, & Yu, 2002). Consecuentemente, la ejecución del segundo test tanto de velocidad como de precisión en el golpeo se produjo bajo condiciones reales de fatiga.

La tabla 2 muestra las diferencias en velocidad y precisión en el golpeo en condiciones de fatiga y reposo. La máxima velocidad del balón previa al protocolo de fatiga fue similar a la observada en estudios previos con jugadoras elite (Alcock, Gilleard, Hunter, Baker, & Brown, 2012; Sedano Campo et al., 2009). No existen referencias del uso del protocolo LSST en jugadoras de fútbol, pero los resultados en condiciones de reposo fueron similares a los obtenidos en otros estudios con jugadores semi-profesionales (Stone & Oliver, 2009) y experimentados (Smith et al., 2016).

De acuerdo con los resultados obtenidos en la diferencia entre la máxima velocidad de golpeo antes y después del protocolo de fatiga (Tabla 2), hay una reducción significativa en la velocidad de golpeo, con un tamaño del efecto considerado como muy grande ( $p = .001$ ;  $ES = 0.89$ ). Este hecho es coincidente con los resultados de otros estudios en jugadoras (Katis et al., 2014) y jugadores de fútbol (Apriantono et al., 2006; Ferraz et al., 2011; Ferraz et al., 2012; Katis et al., 2014; Kellis et al., 2006; Radman et al., 2016), mientras que difiere de los resultados de otros estudios que solo utilizaron jugadores de género masculino en la muestra en los cuales, pese a reportar una reducción en la velocidad de golpeo tras la aplicación del protocolo de fatiga, no se mostró significatividad estadística (Juárez et al., 2011; Torreblanca-Martinez et al., 2016; Zemková & Hamar, 2009). Estas diferencias podrían deberse al protocolo usado, el cual no reproduce las características del juego, como son correr al 80% de la frecuencia cardiaca máxima (Juárez et al., 2011) o saltos con contramovimiento (Torreblanca-Martinez et al., 2016). Otra posible causa, como se ha reportado en estudios previos (Katis et al., 2014), es que la velocidad de golpeo recupera niveles de velocidad previos al protocolo de fatiga tan solo un minuto después de la finalización del mismo. Por lo tanto, la ejecución del test de golpeo al mismo tiempo que un test CMJ (Juárez et al., 2011) o llevado a cabo en el descanso y al final del partido (Zemková & Hamar, 2009) pero no

inmediatamente después del protocolo de fatiga, podría permitir la recuperación de los valores de velocidad máxima de golpeo a valores pre-fatiga.

Por otro lado, la precisión en el golpeo antes y después del test RSA registró un decremento en la puntuación total del LSST (Tabla 2), pero no se alcanzó la significatividad estadística, con un tamaño del efecto considerado como pequeño ( $p = .433$ ;  $ES = 0.22$ ). Estos resultados no coinciden con los obtenidos en estudios previos en jugadores de género masculino (Bjelica et al., 2013; Radman et al., 2016; Russell et al., 2011; Stone & Oliver, 2009). Consideramos diversas razones para explicar esta discrepancia. La primera es la diferencia cinemática en el golpeo entre hombres y mujeres (Barfield et al., 2002; Katis, Kellis, & Lees, 2015) que hace imposible establecer una comparativa entre resultados en ambos sexos. La segunda razón es la previamente citada rápida recuperación tras el protocolo de fatiga para la habilidad de golpeo (Katis et al., 2014). El LSST se llevó a cabo después del test de velocidad máxima de golpeo, por lo tanto, los jugadores podrían haber recuperado valores previos a la aplicación del protocolo de fatiga. El tercer argumento está relacionado con el test de precisión en el golpeo. Pocos estudios han tomado medidas de precisión en el golpeo y los efectos de la fatiga usando test validados, como son el LSST o el “365 soccer shooting test” (Radman et al., 2016). Con el objetivo de mejorar la validez ecológica de estos test (Radman et al., 2016), se pide a los jugadores que golpeen lejos de la posición del portero, por lo que se otorga una mayor puntuación a las esquinas de la portería, tal y como refleja el LSST. Desde nuestro punto de vista, la toma de decisiones es crucial en este test, por lo que la puntuación obtenida no solo refleja la precisión en el golpeo, ya que también estaría influenciada por la capacidad del jugador para tomar riesgos (por ejemplo, elegir realizar todo los disparos al centro para asegurar puntos), en ambas situaciones (en condiciones de fatiga y reposo).



La tabla 3 presenta correlaciones entre las variables de fatiga y el cambio en la velocidad y precisión del golpeo. Los parámetros relacionados con el rendimiento en el test RSA presentan las mayores correlaciones con el cambio de velocidad,  $r = -.632$  ( $p < .01$ ) para el FI y  $r = -.554$  ( $p < .05$ ) para  $S_{\text{dec}}$ . Estos resultados demuestran que el RSA fue un protocolo de fatiga efectivo, debido a las altas correlaciones entre el decremento en el rendimiento en este test y el consecuente decremento en la velocidad del golpeo. Sin embargo, no hubo correlación entre el cambio en la frecuencia cardíaca después del protocolo de fatiga y la reducción en la máxima velocidad de golpeo ( $r = .235$ ,  $p = .347$ ). La velocidad de golpeo es determinada por la consecución de una alta velocidad lineal y angular en los diferentes segmentos y articulaciones, así como por una alta coordinación entre ellos (De Witt & Hinrichs, 2012); por lo tanto, una medida de fatiga central como la frecuencia cardíaca, podría no ser el mejor predictor del rendimiento en una acción explosiva como el golpeo. Consecuentemente, esto podría explicar los diferentes resultados en el decremento de la velocidad de golpeo después de la aplicación de un protocolo de fatiga en diferentes estudios que han usado la frecuencia cardíaca como variable de fatiga (Ferraz et al., 2011; Ferraz et al., 2012; Juárez et al., 2011; Kellis et al., 2006; Radman et al., 2016; Zemková & Hamar, 2009). La puntuación en RPE no mostró correlaciones significativas con la reducción en velocidad de golpeo ( $r = .380$ ,  $p = .119$ ).

Con respecto al cambio en la precisión del golpeo y las correlaciones con variables de fatiga, solo se encontraron correlaciones significativas entre la puntuación en RPE y el decremento de la puntuación total en el LSST ( $r = -.506$ ,  $p < .05$ ), pero no con el IF ( $r = .346$ ,  $p = .159$ ),  $S_{\text{dec}}$  ( $r = .174$ ,  $p = .491$ ) o la frecuencia cardíaca ( $r = .190$ ,  $p = .450$ ). Tampoco se mostró correlación entre la reducción en velocidad y precisión en el golpeo. Se ha reportado previamente que, cuando se pide al jugador que busque la precisión en el golpeo, la velocidad del mismo se reduce, como consecuencia de una menor velocidad en

los segmentos de la pierna de golpeo (van den Tillaar & Fuglstad, 2016). Los indicadores de fatiga en el RSA son: limitación en el aporte de energía, acumulación de metabolitos y fallos en la capacidad para contraer completamente el músculo (Girard et al., 2011). Por lo tanto, una sollicitación no máxima del músculo durante la precisión en el golpeo, al contrario de lo que ocurre en la máxima velocidad de golpeo, podría explicar que no existiera correlación entre las ecuaciones relacionadas con el test RSA y la reducción en la puntuación del LSST. Finalmente, se obtuvieron correlaciones significativas entre RPE y la precisión en el golpeo, pero no con la velocidad. Esta disparidad entre ambas medidas podría explicar la diversidad de resultados que podemos encontrar en los estudios que han utilizado la RPE como variable de fatiga (Ferraz et al., 2012; Radman et al., 2016; Zemková & Hamar, 2009).

Con el objetivo de detectar la influencia de cada una de las variables de fatiga en el cambio en la velocidad de golpeo y en la precisión, se llevaron a cabo dos modelos de regresión.

La tabla 4 muestra la regresión lineal en el cambio de la velocidad de golpeo. El modelo de regresión significativo no incluye la RPE, probablemente porque es una variable subjetiva, con poco efecto en el decremento de la velocidad de golpeo. De acuerdo con los coeficientes estandarizados Beta, el IF en el RSA es la variable que más influye la velocidad de golpeo con fatiga. Sin embargo, ninguna de las variables incluidas predice de forma significativa la pérdida de velocidad en el golpeo. Además, se observó que el incremento en el cambio en la frecuencia cardiaca después del protocolo de fatiga y el  $S_{dec}$  en el test RSA mostraron coeficientes Beta similares.

La tabla 5 muestra la regresión lineal en el cambio de la precisión del golpeo. En este caso, el modelo de regresión significativo incluye la RPE pero no el cambio en la frecuencia cardiaca. Además, los coeficientes Beta para la RPE y el  $S_{dec}$  en el test RSA

mostraron una diferencia significativa, siendo la RPE la variable más influyente. Desde nuestro punto de vista, estos resultados refuerzan el argumento previo sobre la influencia de la toma de decisiones en el LSST, ya que la RPE es una variable subjetiva, la cual no tiene influencia en el modelo de regresión lineal para la velocidad y, sin embargo, es la variable más influyente en la precisión, no siendo incluida una variable fisiológica como la frecuencia cardíaca.

Por otro lado, la inclusión de todas las variables relacionadas con el RSA en los modelos de regresión lineal para la velocidad y la precisión en el golpeo, con el IF siendo la variable más influyente en el modelo para la velocidad y el  $S_{dec}$  obteniendo valores significativos en el modelo de precisión en el golpeo, refuerza el uso del RSA como un protocolo efectivo para generar una fatiga tangible para el estudio del efecto de la fatiga en variables relacionadas con el golpeo en fútbol, al contrario que otros protocolos que se han usado en diferentes estudios.

En conclusión, los resultados obtenidos muestran que existe una reducción significativa en la máxima velocidad de golpeo tras la inducción de fatiga por medio de un test RSA en jugadoras de fútbol. También se encuentra una reducción en la precisión del golpeo tras la inducción del protocolo de fatiga, pero no alcanza la significatividad estadística.

Además, las variables relacionadas con el decremento en esprint en el test RSA son los mejores predictores de la reducción en la máxima velocidad de golpeo, pero no en la precisión en el golpeo, siendo la RPE la única medida de fatiga que se correlaciona con la reducción en la puntuación en el test de precisión.

Como futuras líneas de investigación, un nuevo test de medición de la precisión en el golpeo debería ser previamente validado con el objetivo de evitar la influencia de la toma de decisiones en el LSST o en test similares, que otorgan a las zonas más alejadas del

centro de la portería la máxima puntuación. Quizás un test que determine la distancia de cada disparo del centro de un objetivo, similar a una diana, podría determinar mejor el efecto de la fatiga en la precisión del golpeo.

La principal limitación del presente estudio fue el tamaño de la muestra, el cual podría incrementarse con un mayor número de jugadores, equipos o jugadores de diferentes niveles. Además, podrían ser incluidas muestras sanguíneas, que incluyeran niveles de lactato, como variables de fatiga durante el protocolo para estudiar las correlaciones de dicha variable con la consecuente reducción en la velocidad y precisión en el golpeo.

A nivel de aplicaciones prácticas, encontramos las siguientes:

En primer lugar, el presente estudio es novedoso ya que es el primero que reporta datos sobre los efectos de la fatiga en la precisión en jugadoras de fútbol. Además, solo otro estudio ha mostrado resultados relacionados con la influencia de la fatiga en la velocidad de golpeo en mujeres.

En Segundo lugar, los efectos probados de la fatiga en el rendimiento en el golpeo establecen la necesidad de reducir los niveles de fatiga durante los jugadores en el partido, con el objetivo de ejecutar esta habilidad en mejores condiciones. La correlación entre el decremento en esprint e índice de fatiga en el test RSA y el decremento en la velocidad de golpeo refuerza este argumento.

Finalmente, quizás la principal causa de la disparidad de resultados en los diferentes estudios que estudian el efecto de la fatiga en las habilidades relacionadas con el golpeo es la gran cantidad de protocolos de fatiga que se han utilizado. En el presente estudio se demuestra que el test RSA es un medio efectivo para inducir fatiga, el cual utiliza esfuerzos similares a un partido, siendo altamente reproducible por entrenadores e

investigadores. Por lo tanto, presentamos el test RSA como un medio efectivo para estudiar los efectos de la fatiga en la velocidad y precisión del golpeo.

## 5. Referencias

- Alcock, A. M., Gilleard, W., Hunter, A. B., Baker, J., & Brown, N. (2012). Curve and instep kick kinematics in elite female footballers. *J Sports Sci*, 30(4), 387-394. doi: 10.1080/02640414.2011.643238
- Ali, A., Williams, C., Hulse, M., Strudwick, A., Reddin, J., Howarth, L., . . . McGregor, S. (2007). Reliability and validity of two tests of soccer skill. *J Sports Sci*, 25(13), 1461-1470. doi: 10.1080/02640410601150470
- Apriantono, T., Nunome, H., Ikegami, Y., & Sano, S. (2006). The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football. *J Sports Sci*, 24(9), 951-960. doi: 10.1080/02640410500386050
- Barfield, W. R., Kirkendall, D. T., & Yu, B. (2002). Kinematic instep kicking differences between elite female and male soccer players. *J Sports Sci Med*, 1(3), 72-79.
- Bjelica, D., Popovic, S., & Petković, J. (2013). Comparison of Instep Kicking Between Preferred and Non-Preferred Leg in Young Football Players. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*, 2(1), 5-10.
- Borg, G. (1998). *Borg's Perceived Exertion and Pain Scales*: Human Kinetics.
- De Witt, J. K., & Hinrichs, R. N. (2012). Mechanical factors associated with the development of high ball velocity during an instep soccer kick. *Sports Biomech*, 11(3), 382-390. doi: 10.1080/14763141.2012.661757
- Ferraz, R., van den Tillaar, R., Ferraz, S., Santos, A., Mendes, R., Marinho, D. A., . . . Marques, M. C. (2011). A pilot study on the influence of fatigue on kicking velocity in the soccer players. *Journal of Physical Education and Sport*, 11(2), 68-71.

- Ferraz, R., van den Tillaar, R., & Marques, M. C. (2012). The effect of fatigue on kicking velocity in soccer players. *J Hum Kinet*, 35, 97-107. doi: 10.2478/v10078-012-0083-8
- Girard, O., Mendez-Villanueva, A., & Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability - part I: factors contributing to fatigue. *Sports Med*, 41(8), 673-694. doi: 10.2165/11590550-000000000-00000
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*, 41(1), 3-13. doi: 10.1249/MSS.0b013e31818cb278
- Juárez, D., de Subijana, C. L., Mallo, J., & Navarro, E. (2011). Acute effects of endurance exercise on jumping and kicking performance in top-class young soccer players. *European Journal of Sport Science*, 11(3), 191-196. doi: 10.1080/17461391.2010.500335
- Katis, A., Amiridis, I., Kellis, E., & Lees, A. (2014). Recovery of powerful kick biomechanics after intense running fatigue in male and female soccer players. *Asian J Sports Med*, 5(4), e24013. doi: 10.5812/asjasm.24013
- Katis, A., Kellis, E., & Lees, A. (2015). Age and gender differences in kinematics of powerful instep kicks in soccer. *Sports Biomech*, 14(3), 287-299. doi: 10.1080/14763141.2015.1056221
- Kellis, E., Katis, A., & Vrabas, I. S. (2006). Effects of an intermittent exercise fatigue protocol on biomechanics of soccer kick performance. *Scand J Med Sci Sports*, 16(5), 334-344. doi: 10.1111/j.1600-0838.2005.00496.x
- Lees, A., Asai, T., Andersen, T. B., Nunome, H., & Sterzing, T. (2010). The biomechanics of kicking in soccer: a review. *J Sports Sci*, 28(8), 805-817. doi: 10.1080/02640414.2010.481305
- Morcillo, J. A., Jimenez-Reyes, P., Cuadrado-Penafiel, V., Lozano, E., Ortega-Becerra, M., & Parraga, J. (2015). Relationships between repeated sprint ability, mechanical parameters, and blood metabolites in professional soccer players. *J Strength Cond Res*, 29(6), 1673-1682. doi: 10.1519/jsc.0000000000000782

- Owen, J. A., Kehoe, S. J., & Oliver, S. J. (2013). Influence of fluid intake on soccer performance in a temperate environment. *J Sports Sci*, 31(1), 1-10. doi: 10.1080/02640414.2012.720701
- Radman, I., Wessner, B., Bachl, N., Ruzic, L., Hackl, M., Prpic, T., & Markovic, G. (2016). The acute effects of graded physiological strain on soccer kicking performance: a randomized, controlled cross-over study. *Eur J Appl Physiol*, 116(2), 373-382. doi: 10.1007/s00421-015-3293-7
- Rodríguez-Lorenzo, L., Fernandez-Del-Olmo, M., & Martín-Acero, R. (2015). A critical review of the technique parameters and sample features of maximal kicking velocity in soccer. *Strength and Conditioning Journal*, 37(5), 26-39. doi: 10.1519/SSC.0000000000000172
- Russell, M., Benton, D., & Kingsley, M. (2011). The effects of fatigue on soccer skills performed during a soccer match simulation. *Int J Sports Physiol Perform*, 6(2), 221-233.
- Sedano Campo, S., Vaeyens, R., Philippaerts, R. M., Redondo, J. C., de Benito, A. M., & Cuadrado, G. (2009). Effects of lower-limb plyometric training on body composition, explosive strength, and kicking speed in female soccer players. *J Strength Cond Res*, 23(6), 1714-1722. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b3f537
- Smith, M. R., Coutts, A. J., Merlini, M., Deprez, D., Lenoir, M., & Marcora, S. M. (2016). Mental Fatigue Impairs Soccer-Specific Physical and Technical Performance. *Med Sci Sports Exerc*, 48(2), 267-276. doi: 10.1249/mss.0000000000000762
- Stone, K. J., & Oliver, J. L. (2009). The effect of 45 minutes of soccer-specific exercise on the performance of soccer skills. *Int J Sports Physiol Perform*, 4(2), 163-175.
- Torreblanca-Martinez, V., Otero-Saborido, F. M., & Gonzalez-Jurado, J. A. (2016). Effects of Muscle Fatigue Induced by CMJ on Efficacy Parameters of Instep Ball Kicking in Soccer. *J Appl Biomech*, 1-24. doi: 10.1123/jab.2016-0040
- van den Tillaar, R., & Fuglstad, P. (2016). Effect of Instructions Prioritizing Speed or Accuracy on Kinematics and Kicking Performance in Football Players. *J Mot Behav*, 1-8. doi: 10.1080/00222895.2016.1219311

Zemková, E., & Hamar, D. (2009). The effect of soccer match induced fatigue on neuromuscular performance. *Kinesiology*, 41(2), 195-202.



## **Title page**

**Title:** Is fatigue induced by repeated-sprint related to kicking accuracy and velocity, in female soccer players?.

**Authors:** Víctor Torreblanca-Martínez, <sup>1</sup> Fabio, Nevado-Garrosa, <sup>2</sup> Fernando M. Otero-Saborido<sup>1</sup> and José A. González-Jurado,<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Faculty of Sport Sciences, Pablo de Olavide University, Seville, Spain.

<sup>2</sup> Faculty of Sciences for Physical Activity and Sport. Autonomous University of Madrid, Madrid, Spain.

**Corresponding author:** Víctor Torreblanca-Martínez.

Phd Student.

Pablo de Olavide University. Carretera de Utrera km 1. CP: 41013. Seville. Spain.

Email: victm81@hotmail.com

Phone number: +0034678383714

**Conflict of interest disclosure:** No potential conflict of interest was reported by the authors.

## **Abstract**

The aim of this research was to study the effects of fatigue on kicking accuracy and velocity in female soccer players. Eighteen Under-23 female soccer players from a Spanish professional club were subjected to a fatigue protocol based on a repeated-sprint ability (RSA) test. Measurements of kicking velocity (maximal ball velocity) and accuracy (Loughborough Soccer Shooting Test) were taken before and after fatigue induction. Correlations between the change in maximal ball velocity/accuracy and heart rate (HR), fatigue index (FI), sprint decrement ( $S_{\text{dec}}$ ) and rate of perceived effort (RPE) were made. There was a significant difference between maximal ball velocity under fatigue conditions with respect to non-fatigue conditions ( $p = 0.001$ ;  $ES = 0.89$ ). However, despite lower kicking accuracy with fatigue, this was not statistically significant ( $p = 0.433$ ;  $ES = 0.22$ ). Significant correlations were established between maximal kicking velocity and FI ( $r = 0.632$ ,  $p < 0.01$ ) and  $S_{\text{dec}}$  ( $r = -0.554$ ,  $p < 0.05$ ) and between kicking accuracy and RPE ( $r = -0.506$ ,  $p < 0.05$ ). In conclusion, there was a significant reduction in maximal kicking velocity, but not in kicking accuracy, under fatigued conditions. RSA-related FI and  $S_{\text{dec}}$  were the best predictors of maximal kicking velocity and RPE for kicking accuracy.

**Key words:** RSA, performance, gender, skill, shooting accuracy, technical skill.

## **Introduction**

Kicking is the most widely studied soccer skill (Rodríguez-Lorenzo, Fernandez-Del-Olmo, & Martín-Acero, 2015), as it is the defining action in the game (Lees, Asai, Andersen, Nunome, & Sterzing, 2010), with 80.69% of the goals being achieved by means of this action (Rodríguez-Lorenzo et al., 2015). Fatigue and the consequent reduction in performance could be the cause of the disproportionate number of goals during the last 15 minutes of a match (Russell, Benton, & Kingsley, 2011).

Maximal ball velocity and accuracy have been the most studied variables related to the kicking action, with studies on the effects of diverse exercise protocols in both factors (Russell et al., 2011), such as match simulations (Russell et al., 2011), circuits (Ferraz et al., 2011; Ferraz, van den Tillaar, & Marques, 2012; Kellis, Katis, & Vrabas, 2006; Stone & Oliver, 2009), running on a treadmill at different intensities (Juárez, de Subijana, Mallo, & Navarro, 2011; Katis, Amiridis, Kellis, & Lees, 2014), incremental test (Radman et al., 2016), squats (Bjelica, Popovic, & Petković, 2013), countermovement jumps (Torreblanca-Martinez, Otero-Saborido, & Gonzalez-Jurado, 2016), knee flexion and extension (Apriantono, Nunome, Ikegami, & Sano, 2006) and the real competition (Zemková & Hamar, 2009). Therefore, a large number of fatigue protocols are found, which makes it difficult to interpret the results of this in the kick and the capacity to generate fatigue; in some cases, the physiological demands of the game are not faithfully reproduced (Russell et al., 2011).

In addition, there are different measurements to ensure the presence of fatigue in the moment at which the player makes the kick under fatigue conditions, such as heart rate (Ferraz et al., 2011; Ferraz et al., 2012; Juárez et al., 2011; Kellis et al., 2006; Radman et al., 2016; Russell et al., 2011; Stone & Oliver, 2009; Zemková & Hamar, 2009), rate of perceived exertion (RPE) (Ferraz et al., 2012; Radman et al., 2016; Russell et al., 2011; Zemková & Hamar, 2009),

or blood lactate (Ferraz et al., 2012; Kellis et al., 2006; Radman et al., 2016; Russell et al., 2011).

Some studies have reported results about the effect of fatigue in kicking accuracy (Bjelica et al., 2013; Radman et al., 2016; Russell et al., 2011; Stone & Oliver, 2009); however, all of them used only male players, and no report has been found to study this in female soccer players. In this case, the studies achieved the same conclusion: fatigue affects kicking accuracy. Only one study has reported data about correlations between fatigue variables and a decrement in kicking accuracy, showing a decrement in kicking accuracy close to the second lactate threshold (Radman et al., 2016).

More studies about the effect of fatigue on kicking velocity were found (Apriantono et al., 2006; Ferraz et al., 2011; Ferraz et al., 2012; Juárez et al., 2011; Katis et al., 2014; Kellis et al., 2006; Radman et al., 2016; Torreblanca-Martinez et al., 2016; Zemková & Hamar, 2009), but only one included female soccer players in the sample (Katis et al., 2014). Unlike accuracy, we found a big disparity of results related to kicking velocity, concluding some studies that fatigue affects kicking velocity (Apriantono et al., 2006; Ferraz et al., 2011; Ferraz et al., 2012; Katis et al., 2014; Kellis et al., 2006; Radman et al., 2016) and, in other cases, that fatigue does not affect kicking velocity (Juárez et al., 2011; Torreblanca-Martinez et al., 2016; Zemková & Hamar, 2009). In addition, a decrement in kicking velocity was correlated with the increment in a shuttle running test from the second lactate threshold (Radman et al., 2016). However, a decrement in a fatigue protocol based on countermovement jumps did not establish correlations with the decrement in maximal kicking velocity (Torreblanca-Martinez et al., 2016).

Due to the evident lack of data about the effects of fatigue on factors related to the kick in female soccer players, the aim of this study was to analyze the effects of fatigue in kicking

velocity and accuracy in female soccer players. It was hypothesized that fatigue affects kicking accuracy and velocity.

## **Methods**

### *Participants*

A total of 18 U-23 female soccer players with the following characteristics participated in the research: age (Mean  $\pm$  SD, years) =  $18.44 \pm 1.75$ , body mass (Mean  $\pm$  SD, kg) =  $56.08 \pm 6.50$ , height (Mean  $\pm$  SD, cm) =  $161.61 \pm 4.90$ .

Players belonged to the second team of a professional Spanish club. This team competes in the second national female soccer league. At the time of the study, no injuries were diagnosed and none of the players were in a recovery process.

All participants were informed in advance about the purpose of the study and the type of evidence to be submitted. Each of the players gave their signed informed consent following the recommendations of the Declaration of Helsinki. The study was approved by the Institutional Review Board of Pablo de Olavide University.

### *Instruments*

Anthropometric measures were taken according to standard procedures (Tanner & Gore, 2000). Body mass was measured with a reliable weighing scale Seca<sup>®</sup> 869 (Seca GmbH & Co, Hamburg, Germany) and height with a stadiometer (Soehnle<sup>®</sup> 5003, China).

Repeated-sprint ability test (RSA) reproduces maximal or near maximal effort with brief recovery intervals in team sports (Girard, Mendez-Villanueva, & Bishop, 2011). RSA performance was determined by using two Microgate Witty Gate photocells (Microgate<sup>®</sup>, Italy), with a Microgate Witty Timer receptor. The distance of 12x30 m all-out running sprint with 30 seconds of recovery has previously shown the capacity to induce evident fatigue

conditions (Morcillo et al., 2015). In order to know the degree of fatigue achieved, Fatigue Index (FI) and Percentage decrement score ( $S_{dec}$ ) have been proposed for determining the manifestation of fatigue (Girard et al., 2011):

$$FI = 100 \times \frac{(S_{best} - S_{worst})}{S_{best}}$$

$$S_{dec}(\%) = \left(1 - \frac{S1 + S2 + S3 + \dots + S_{final}}{S_{best} \times \text{number of sprints}}\right) \times 100$$

Heart rate was monitored during the entire protocol. All the players wore a Polar heart rate monitor Polar V800 (Polar®, Finland). The rating of perceived exertion (RPE) measured by Borg Scale (Borg, 1998) was recorded at the start and at the end of the RSA test.

Maximal kicking velocity has been a common measurement in different studies that aimed to determine kicking velocity, which was obtained using a radar gun (Ferraz et al., 2012; Tomas, Frantisek, Lucia, & Jaroslav, 2014). In the present study, a Stalker ATS II radar (Stalker®, USA) was used, which has a precision time of 0.01 seconds, a velocity range of 1-1432.3 km/h and the capacity to detect ball movement in a distance of 152.40 meters. The kicks were executed from the penalty spot with the dominant leg.

Kicking accuracy was obtained using the Loughborough Soccer Shooting Test (LSST), previously validated (Ali et al., 2007) and used in different studies that aimed to determine kicking accuracy in soccer (Owen, Kehoe, & Oliver, 2013; Smith et al., 2016; Stone & Oliver, 2009). Following Stone's recommendations (Stone & Oliver, 2009), a life-size goalkeeper was not used. The kicking zone was marked at 16.5 meters from the goal. The shooting area was 8.5 x 8.5 meters, marked by four traffic cones and using a wooden bench. The full goal was split into scoring zones with a 7-cm reflective red and white tape. The targets were given point values that reflected better shots and chances of scoring in a competitive soccer match (Owen et al., 2013) (5 points for kicks to the corner of the goal, 3 points for kicks near the goal post, 2

points for kicks close to the center and 1 point for kicks to the center). Before each kick, the players had to sprint to one of the four cones, come back to the center, pass a ball to the bench, control the rebound and kick. In order to avoid a possible decrement in fatigue conditions, as has been reported in previous studies (Katis et al., 2014), each kick was executed with only 6 seconds of recovery, in the same way as it is carried out in some protocols similar to LSST (Radman et al., 2016). The kicks were recorded with two Sony Handycam DCR-SR35 cameras (Sony<sup>®</sup>, Japan).

### *Testing procedures*

Testing was conducted over three different days at the Rayo Vallecano de Madrid S.A.D. sport centre on an artificial grass pitch, where the team usually trains and plays league matches, under stable weather conditions. All participants were equipped with their own soccer boots and regular training outfit. Ten Adidas Errejota RFEF approved balls were used (Adidas<sup>®</sup>, Germany).

The research protocol used was:

- 1) Generic warm-up (8 minutes): articular mobility, cardiovascular activation, and stretching.
- 2) Specific warm-up (4 minutes): kicking and sprint.
- 3) Familiarization with kicking velocity and accuracy test.
- 4) Three maximal instep kicks with ten seconds of recovery between each kick. The fastest of the 3 kicks was selected. The reliability was evaluated by calculating the intraclass correlation coefficient (ICC), 0.871. The greatest coefficient of variation (CV) was 0.06.
- 5) Ten kicks, following the LSST protocol, with 6 seconds of recovery between each trial, in order to achieve the maximum score in each kick. The total score of the ten trials was selected.
- 6) A RSA test, which consisted in twelve 30-meter sprints, each separated by 30 seconds of rest.

7) Immediately after, three maximal instep kicks were performed. The fastest of the 3 kicks was selected. The ICC was 0.875. The greatest CV was 0.07.

8) Without rest, the LSST protocol was repeated.

Variables studied:

1. Maximal kicking velocity without fatigue.
2. Kicking accuracy without fatigue.
3. Heart rate before the fatigue protocol.
4. FI in RSA test.
5.  $S_{dec}$  in RSA test.
6. Heart rate after the fatigue protocol.
7. RPE.
8. Maximal kicking velocity with fatigue.
9. Kicking accuracy with fatigue.

### *Statistical analyses*

For the statistical analyses, the software IBM SPSS statistics 22 was used.

Regarding descriptive statistics, the mean and the standard deviation were calculated.

The confidence level of the measurements was estimated at a 95% confidence interval for the mean.



In order to know the consistency of the measurements, the intraclass correlation coefficient (ICC) and the coefficient of variation (CV) were calculated between repeated kicking measurements. The two-way random absolute agreement model was used.

With respect to inferential statistics, a paired sample t-Test or Wilcoxon was conducted, according to the normality, calculated through Shapiro-Wilk test. The Cohen's  $d$  effect size was also calculated (Cohen, 1988), considering values of  $d < 0.3$  small,  $d = 0.3-0.5$  as moderate,  $d = 0.5-0.7$  as large,  $d = 0.7-0.9$  as very large and  $d > 0.9$  as extremely large (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009).

To establish if there were correlations between the differences in kicking velocity and accuracy before and after the fatigue protocol and the fatigue variables, Pearson's  $r$  was calculated, setting the statistical significance at  $p < 0.05$ .

Multiple Linear Regression was used to determine the relative contributions of the different fatigue variables to the change in kicking accuracy and velocity under fatigue conditions.

## Results

Table 1 shows a descriptive analysis of the sample characteristics. In addition, the fatigue variables are included. High fatigue values are achieved after the fatigue protocol, with an average in the final heart rate of 178.61 beats per minute, a score of 15.22 in RPE Borg's scale and a decrement in RSA performance, showing a FI in RSA of -12.52% and a  $S_{dec}$  in RSA of -6.53%.

\*\*\*\* Insert table 1 here\*\*\*\*

Significant differences were observed in kicking velocity between fatigue and non-fatigue conditions ( $p = .001$ ) and the effect size (0.89) was very large. Regarding kicking accuracy, no significant differences were found between both measurements ( $p = .433$ ) and an effect size (0.22) considered small was obtained (Table 2).

\*\*\*\* Insert table 2 here\*\*\*\*

In reference to the correlation between fatigue measures and kicking velocity and accuracy, there was a correlation between kicking velocity change and FI ( $r = -.632, p < .01$ ) and  $S_{dec}$  ( $r = -.554, p < .05$ ) and between kicking accuracy change and RPE ( $r = -.506, p < .05$ ). However, there was no correlation between kicking velocity change and heart rate difference ( $r = .235, p = .347$ ), RPE ( $r = .380, p = .119$ ) or the change in kicking accuracy ( $r = .045, p = .859$ ). At the same time, there was no correlation between kicking accuracy change and heart rate difference ( $r = .190, p = .450$ ), FI ( $r = .346, p = .159$ ),  $S_{dec}$  ( $r = .174, p = .491$ ) or the change in kicking velocity ( $r = .045, p = .859$ ) (Table 3).

\*\*\*\*Insert table 3 here\*\*\*\*

Table 4 shows a significant lineal regression model for the difference in kicking velocity, which includes the variables Heart rate difference before and after the fatigue protocol, FI and  $S_{dec}$  in RSA. There were no significant differences in the relative contribution of each variable to kicking velocity, as shown by the individual Beta coefficients.

\*\*\*\* Insert table 4 here\*\*\*\*

Table 5 shows a significant lineal regression model for the differences in kicking accuracy, which includes the variables RPE, FI and  $S_{dec}$  in RSA. There were significant differences in the relative contribution of the variables RPE and  $S_{dec}$  in RSA to kicking velocity, as shown by the individual Beta coefficients.

\*\*\*\* Insert table 5 here\*\*\*\*

## **Discussion and conclusions**

The aim of this study was to analyze the effects of fatigue in kicking velocity and accuracy in female soccer players.

The fatigue protocol applied in this study was intense enough to generate a tangible fatigue in the participants (Table 1). This protocol has been used in previous studies, proving its capacity to generate real fatigue in soccer players (Morcillo et al., 2015). In addition, RSA reproduces the effort that would be expected in team sports (Girard et al., 2011), which has been the main problem in protocols used to induce fatigue in previous studies (Barfield, Kirkendall, & Yu, 2002). Consequently, the execution of the second tests of kicking velocity and accuracy was performed under real fatigue conditions.

Table 2 shows the differences in kicking accuracy and velocity under fatigue and non-fatigue conditions. Maximal ball velocity before the fatigue protocol was similar to that observed in previous studies with elite female soccer players (Alcock, Gilleard, Hunter, Baker, & Brown, 2012; Sedano Campo et al., 2009). There are no references of the LSST protocol in female soccer players, but the results under non-fatigue conditions were similar to those obtained in other studies with semi-professional (Stone & Oliver, 2009) and experienced (Smith et al., 2016) male soccer players.

According to the results obtained in the difference between maximal kicking velocity before and after the fatigue protocol (Table 2), there is a significant reduction in kicking velocity, with an effect size considered as very large ( $p = .001$ ;  $ES = 0.89$ ). This fact is consistent with the results of other studies with female players (Katis et al., 2014) and male players (Apriantono et al., 2006; Ferraz et al., 2011; Ferraz et al., 2012; Katis et al., 2014; Kellis et al.,

2006; Radman et al., 2016), while it is not consistent with other studies that only used male soccer players, which, despite reporting a reduction in kicking velocity after the fatigue protocol, showed no statistical significance (Juárez et al., 2011; Torreblanca-Martinez et al., 2016; Zemková & Hamar, 2009). These differences could be due to the protocol used, which did not reproduce the game characteristics, such as running at 80% of the maximal heart rate (Juárez et al., 2011) or countermovement jumps (Torreblanca-Martinez et al., 2016). Another possible explanation, as has been reported in previous studies (Katis et al., 2014), is that maximal kicking velocity is recovered to pre-fatigue levels only one minute after the end of the protocol. Therefore, the execution of the kicking test at the same time of the CMJ test (Juárez et al., 2011) or carrying out the kicking test in the break time and at the end of the match (Zemková & Hamar, 2009) but not immediately after the fatigue protocol, could make it possible to recover the maximal kicking velocity to pre-fatigue levels.

On the other hand, kicking accuracy before and after the RSA test registered a decrement in the total score at the execution of the LSST (Table 2), but it was not statistically significant, with a small effect size ( $p = .433$ ;  $ES = 0.22$ ). These results disagree with previous studies with male participants (Bjelica et al., 2013; Radman et al., 2016; Russell et al., 2011; Stone & Oliver, 2009). We consider diverse reasons to explain this discrepancy. The first reason is the reported kinematic differences in kicking between male and female soccer players (Barfield et al., 2002; Katis, Kellis, & Lees, 2015); this makes it impossible to establish similar results in both genders. The second reason is the previously cited fast recovery after the fatigue protocol for kicking ability (Katis et al., 2014). LSST was carried out after the maximal velocity kicking test, thus, before making the LSST, the players may have recovered similar values before the fatigue protocol. The third argument is related to the kicking accuracy test. Few studies have taken measurements of kicking accuracy and the effect of fatigue using previously validated tests, such as LSST or the 365 soccer shooting test (Radman et al., 2016). In order to improve

the ecological validity of this tests (Radman et al., 2016), the players were instructed to kick far from the goalkeeper position, so a higher score was given near the corners of the goal, as reflected in LSST. From our point of view, decision-making is crucial in this tests, so the score not only reflects the kicking accuracy, but it also shows the player's ability to take risk (for example, choosing to make all the kicks to the center ensures the scoring of points), in both situations (without and under fatigue conditions).

Table 3 presents correlations between fatigue variables and the change in kicking velocity and accuracy. Parameters related to the performance in the RSA test have the highest correlations with kicking velocity change,  $r = -.632$  ( $p < .01$ ) for FI and  $r = -.554$  ( $p < .05$ ) for  $S_{dec}$ . This results prove that RSA was an effective fatigue protocol due to the high correlations between the decrement of the performance in this test and the consequent decrement in performance in maximal kicking velocity. However, there were no correlations between the change in heart rate after the fatigue protocol and the reduction in maximal kicking velocity ( $r = .235$ ,  $p = .347$ ). Kicking velocity is determined by achieving a high angular and lineal velocity, and high coordination in the different segments of the kicking leg (De Witt & Hinrichs, 2012); therefore, a central measurement of fatigue like heart rate may not be the best predictor of performance in an explosive action as the kick. Consequently, this might explain the different results in the decrement of kicking velocity after the fatigue protocol in different studies that have used heart rate as a fatigue measurement (Ferraz et al., 2011; Ferraz et al., 2012; Juárez et al., 2011; Kellis et al., 2006; Radman et al., 2016; Zemková & Hamar, 2009). RPE score had no significant correlations neither with the reduction in kicking velocity ( $r = .380$ ,  $p = .119$ ) nor with the reduction in kicking accuracy ( $r = .045$ ,  $p = .859$ ).

With respect to the change in kicking accuracy and its correlations with fatigue measurements, we only found a significant correlation between RPE score and the decrement in total LSST score ( $r = -.506$ ,  $p < .05$ ), but not with FI ( $r = .346$ ,  $p = .159$ ),  $S_{dec}$  ( $r = .174$ ,  $p =$

.491) or heart rate ( $r = .190, p = .450$ ). Kicking velocity reduction showed no correlation with kicking accuracy neither. It has been previously reported that, when the emphasis of the kick was accuracy, ball velocity was reduced, as a consequence of lower segmental velocities in the kicking leg (van den Tillaar & Fuglstad, 2016). Fatigue indicators in RSA are: limitation in energy supply, metabolic by-product accumulation and failures to fully activate the contracting muscle (Girard et al., 2011). Therefore, a non-maximal demand during accuracy kicking, unlike maximal velocity kicking, could explain that there were no correlations between RSA equations and the reduction in LSST score. Finally, RPE had a significant correlation with kicking accuracy but not with kicking velocity. This disparity between both measures could explain the diversity of the results that we can find in studies that used RPE as a fatigue measurement (Ferraz et al., 2012; Radman et al., 2016; Zemková & Hamar, 2009).

In order to detect the influence of each of the fatigue variables over the change in kicking accuracy and velocity, two linear regression models were carried out.

Table 4 shows the Linear Regression of kicking velocity change. The statistically significant regression model does not include RPE, probably because it is a subjective variable and has little effect on kicking velocity decrement. According to the Beta coefficients, the FI in RSA is the most influential variable in kicking velocity after the fatigue. However, none of them predicted in a significant way the loss of velocity in the kick. Likewise, it was observed that the increment in HR-change after the fatigue protocol and  $S_{dec}$  in RSA showed similar results in the Beta coefficients.

Table 5 shows the Linear Regression of kicking accuracy change. In this case, the statistically significant regression model includes RPE, but not HR-change. In addition, the Beta coefficients of RPE and  $S_{dec}$  in RSA obtained a significant difference, with RPE being the most influential variable. From our point of view, these results reinforce the previous argument

about the influence of decision-making over LSST, since a subjective variable like RPE, which has no influence on the Linear Regression model of kicking velocity, is now the most influential variable for accuracy; a physiological variable like HR-change must not be included.

On the other hand, the inclusion of all the variables related to RSA in Linear Regression models for kicking velocity and accuracy, with FI being the most influential variable in the kicking velocity model, and with  $S_{dec}$  obtaining significant values in the kicking accuracy model, reinforces the use of RSA as an effective protocol to generate a tangible fatigue for studying kicking variables, unlike other protocols used in other studies.

In conclusion, the obtained results show that there is a significant reduction in maximal kicking velocity after the induction of fatigue by means of a RSA test in female soccer players. There is also a reduction in kicking accuracy after the fatigue protocol, but this is not statistically significant.

In addition, variables related to the sprint decrement in the RSA test are the best predictor of the reduction in maximal kicking velocity, but not for kicking accuracy, which suggests that RPE is the only fatigue measurement that is correlated with the reduction in the total score for kicking accuracy.

As future lines of research, a new test for measuring kicking accuracy should be previously validated in order to avoid the influence of decision making over LSST or similar tests that take the corner of the goal as zones with the highest score. Perhaps a test that determines the distance of each kick from the center of a specific target, similar to a bullseye, might be better for determining the effect of fatigue in kicking accuracy.

The main limitation of the present study was the sample size, which could be increased to a higher number of players, teams or player levels. Likewise, blood sample measurements,

including lactate levels, could be included as measurements of the fatigue protocol and for studying correlations with the consequent reduction in kicking velocity and accuracy.

As practical application we found the next:

Firstly, the present study is novel due to the fact that it is the first study reporting data about the effects of fatigue on kicking accuracy with a sample of female soccer players.

Likewise, only one more study has reported data related to the influence of fatigue on maximal kicking velocity with this gender.

Secondly, the proven effect of fatigue on kicking performance establishes the need for reducing the fatigue levels of the players during the match, in order to carry out this skill in a better condition. The correlation between sprint decrements and fatigue index in RSA and the decrement in kicking velocity reinforces this argument.

Lastly, perhaps the main cause of the disparity in results with respect to the effect of fatigue on kicking velocity is the large number of fatigue tests that have been used. In the present study, it is demonstrated that the RSA test is an effective way to induce fatigue, which reproduces game efforts, being highly reproducible for coaches and researchers. Therefore, we present RSA as an effective test for studying the effects of fatigue on kicking accuracy and velocity.



## References

- Alcock, A. M., Gilleard, W., Hunter, A. B., Baker, J., & Brown, N. (2012). Curve and instep kick kinematics in elite female footballers. *Journal of Sports Sciences*, 30(4), 387-394.
- Ali, A., Williams, C., Hulse, M., Strudwick, A., Reddin, J., Howarth, L., et al. (2007). Reliability and validity of two tests of soccer skill. *Journal of Sports Sciences*, 25(13), 1461-1470.
- Apriantono, T., Nunome, H., Ikegami, Y., & Sano, S. (2006). The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), 951-960.
- Barfield, W. R., Kirkendall, D. T., & Yu, B. (2002). Kinematic instep kicking differences between elite female and male soccer players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 1(3), 72-79.
- Bjelica, D., Popovic, S., & Petković, J. (2013). Comparison of Instep Kicking Between Preferred and Non-Preferred Leg in Young Football Players. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*, 2(1), 5-10.
- Borg, G. (1998). *Borg's Perceived Exertion and Pain Scales*: Human Kinetics.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey.
- De Witt, J. K., & Hinrichs, R. N. (2012). Mechanical factors associated with the development of high ball velocity during an instep soccer kick. *Sports Biomechanics*, 11(3), 382-390.
- Ferraz, R., van den Tillaar, R., Ferraz, S., Santos, A., Mendes, R., Marinho, D. A., et al. (2011). A pilot study on the influence of fatigue on kicking velocity in the soccer players. [Article]. *Journal of Physical Education and Sport*, 11(2), 68-71.

- Ferraz, R., van den Tillaar, R., & Marques, M. C. (2012). The effect of fatigue on kicking velocity in soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 35, 97-107.
- Girard, O., Mendez-Villanueva, A., & Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability - part I: factors contributing to fatigue. *Sports Medicine*, 41(8), 673-694.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3-13.
- Juárez, D., de Subijana, C. L., Mallo, J., & Navarro, E. (2011). Acute effects of endurance exercise on jumping and kicking performance in top-class young soccer players. *European Journal of Sport Science*, 11(3), 191-196.
- Katis, A., Amiridis, I., Kellis, E., & Lees, A. (2014). Recovery of powerful kick biomechanics after intense running fatigue in male and female soccer players. *Asian Journal of Sports Medicine*, 5(4), e24013.
- Katis, A., Kellis, E., & Lees, A. (2015). Age and gender differences in kinematics of powerful instep kicks in soccer. *Sports Biomechanics*, 14(3), 287-299.
- Kellis, E., Katis, A., & Vrabas, I. S. (2006). Effects of an intermittent exercise fatigue protocol on biomechanics of soccer kick performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 16(5), 334-344.
- Lees, A., Asai, T., Andersen, T. B., Nunome, H., & Sterzing, T. (2010). The biomechanics of kicking in soccer: a review. *Journal of Sports Sciences*, 28(8), 805-817.
- Morcillo, J. A., Jimenez-Reyes, P., Cuadrado-Penafiel, V., Lozano, E., Ortega-Becerra, M., & Parraga, J. (2015). Relationships between repeated sprint ability, mechanical parameters, and blood metabolites in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(6), 1673-1682.

- Owen, J. A., Kehoe, S. J., & Oliver, S. J. (2013). Influence of fluid intake on soccer performance in a temperate environment. *Journal of Sports Sciences*, 31(1), 1-10.
- Radman, I., Wessner, B., Bachl, N., Ruzic, L., Hackl, M., Prpic, T., et al. (2016). The acute effects of graded physiological strain on soccer kicking performance: a randomized, controlled cross-over study. *European Journal of Applied Physiology*, 116(2), 373-382.
- Rodríguez-Lorenzo, L., Fernandez-Del-Olmo, M., & Martín-Acero, R. (2015). A critical review of the technique parameters and sample features of maximal kicking velocity in soccer. *Strength and Conditioning Journal*, 37(5), 26-39.
- Russell, M., Benton, D., & Kingsley, M. (2011). The effects of fatigue on soccer skills performed during a soccer match simulation. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(2), 221-233.
- Sedano Campo, S., Vaeyens, R., Philippaerts, R. M., Redondo, J. C., de Benito, A. M., & Cuadrado, G. (2009). Effects of lower-limb plyometric training on body composition, explosive strength, and kicking speed in female soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1714-1722.
- Smith, M. R., Coutts, A. J., Merlini, M., Deprez, D., Lenoir, M., & Marcora, S. M. (2016). Mental Fatigue Impairs Soccer-Specific Physical and Technical Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(2), 267-276.
- Stone, K. J., & Oliver, J. L. (2009). The effect of 45 minutes of soccer-specific exercise on the performance of soccer skills. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(2), 163-175.
- Tanner, R. K., & Gore, C. J. (2000). *Physiological test fot elite athletes*. Champaign, IL: Human Kinetics

- Tomas, M., Frantisek, Z., Lucia, M., & Jaroslav, T. (2014). Profile, correlation and structure of speed in youth elite soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 40, 149-159.
- Torreblanca-Martinez, V., Otero-Saborido, F. M., & Gonzalez-Jurado, J. A. (2016). Effects of Muscle Fatigue Induced by CMJ on Efficacy Parameters of Instep Ball Kicking in Soccer. *Journal of Applied Biomechanics*, 1-24.
- Van den Tillaar, R., & Fuglstad, P. (2016). Effect of Instructions Prioritizing Speed or Accuracy on Kinematics and Kicking Performance in Football Players. *Journal of Motor Behaviour*, 1-8.
- Zemková, E., & Hamar, D. (2009). The effect of soccer match induced fatigue on neuromuscular performance. [Article]. *Kinesiology*, 41(2), 195-202.

**Table 1.** Descriptive analysis of the sample and fatigue variables.

	<b>Mean <math>\pm</math> SD</b>	<b>CV</b>	<b>CI (95%)</b>
<b>Age (years)</b>	18.44 $\pm$ 1.75	9.49	17.57 – 19.31
<b>BM</b>	56.08 $\pm$ 6.5	11.59	52.85 – 59.32
<b>Height (cm)</b>	161.61 $\pm$ 4.9	3.03	159.17 – 164.04
<b>Final HR (bpm)</b>	178.61 $\pm$ 11.84	6.63	172.71 – 184.50
<b>RPE</b>	15.22 $\pm$ 2.53	16.62	13.96 – 16.48
<b>FI RSA (%)</b>	-12.50 $\pm$ 4.8	-38.40	-14.89 - -10.11
<b>S<sub>dec</sub> RSA (%)</b>	-6.53 $\pm$ 2.95	-45.18	-8.00 - -5.06

SD = Standard deviation; CV= Coefficient of Variation %; CI (95%) = 95% Confidence Interval;  
BM= Body Mass (kg); Final HR = Heart rate after fatigue protocol in beats per minute; RPE =  
Rate of perceived exertion in Borg's scale; FI RSA= Fatigue index in repeated-sprint ability; S<sub>dec</sub>  
RSA = Percentage decrement score in repeated-sprint ability.

**Table 2.** Ball velocity (m/s) and mean accuracy in fatigue and non-fatigued conditions (Mean±SD).

	Without	With	Change	CI (95%)	<i>p</i> value*	Effect size§	
	Fatigue	Fatigue				Value	Magnitude
<b>Velocity (m/s)</b>	23.28 ± 1.59	21.96 ± 1.29	1.32 ± 1.32	0.66 – 1.98	.001	0.83	Very large
<b>Accuracy (total score)</b>	21.72 ± 7.62	20.05 ± 5.51	1.66 ± 8.79	-2.70 - 6.04	.433	0.22	Small

\* Calculated with T-test.

§ Calculated with Cohen's effect size (Cohen, 1988).

**Table 3.** Correlations between fatigue measures and kicking velocity and accuracy\*.

	<b>Kicking velocity</b>	<b>Kicking accuracy</b>
<b>Heart rate</b>	.235 (.347)	.190 (.450)
<b>Fatigue index RSA</b>	-.632 (.005)	.346 (.159)
<b>Sprint decrement RSA</b>	-.554 (.017)	.174 (.491)
<b>Rate of perceived exertion</b>	.380 (.119)	-.506 (.032)
<b>Kicking velocity</b>	1	.045 (.859)
<b>Kicking accuracy</b>	.045 (.859)	1

\*Pearson's Correlation Bivariate:  $r$  ( $p$  value).

**Table 4.** Fatigue predictors for kicking velocity. Linear Regression.

	<i>R</i> <sup>2</sup>	Standardized Beta coefficients
	(Sig.)	(Sig.)
<b>Heart rate difference</b>		.26 (.21)
<b>Fatigue index RSA</b>	.46 (.02)	-.86 (.08)
<b>Sprint decrement RSA</b>		.26 (.58)



**Table 5.** Fatigue predictors for kicking accuracy. Linear Regression.

	$R^2$	Standardized Beta coefficients
	(Sig.)	(Sig.)
<b>Rate of perceived exertion</b>		-.63 (.02)
<b>Fatigue index RSA</b>	.44 (.03)	.87 (.07)
<b>Sprint decrement RSA</b>		-1.03 (.04)